

PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:
TRASDOSADO Y FALSO TECHO ACÚSTICO A PARTIR DE TRAJES EPI UTILIZADOS
DURANTE LA COVID-19

TRABAJO FIN DE GRADO

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

Realizado por **Clara Castillejo Arcos**

Tutora: Paloma Rubio de Hita

Grupo Docente: Enrique D. Fernández Nieto
Diego César Frustaglia

Grupo y curso: TFG H 2020/2021



*Este trabajo es individual. No obstante, desde el punto 1. **Estudio previo** hasta el punto **6.4.2 Análisis de los resultados**, ha sido elaborado junto a mis compañeras Marta Domínguez Hermoso, María del Carmen Ostos Mengual y María Rosa Hinojosa Jiménez.



PRÓLOGO

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN_ PALABRAS CLAVE	2
ABSTRACT_ KEY WORDS	2

ÍNDICE

1. ESTUDIO PREVIO*	
1.1. ¿Qué es el plástico y cuáles son sus propiedades?*	5
1.2. Tipos de plástico*	5
1.3. El problema de los plásticos y el medio ambiente. El reciclaje como solución.*	5
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN*	
2.1. Origen y problemática del COVID-19. La pandemia del plástico*	11
2.2. El material sanitario en la pandemia. Batas y monos EPI*	15
2.3. Problemas ambientales a partir del residuo contaminado la situación de emergencia*	17
2.4. Posibles soluciones de descontaminación. Concienciación y reutilización*	25
2.5. Estudios de referencia*	31
3. OBJETIVOS*	
3.1. Objetivos generales*	42
3.2. Objetivos específicos*	43
4. HIPÓTESIS DE PARTIDA*	44
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO*	46
6. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL*	
6.1 Introducción a la metodológica y a la normativa de aplicación*	48
6.2 Elaboración y dosificación de probetas*	49
6.4 Ensayo acústico*	
6.4.1 Metodología*	56
6.4.2 Análisis de los resultados	60
6.4.3 Conclusiones del ensayo	65
7. DISEÑO Y PROPUESTA DEL PRODUCTO	72
8. APLICACIÓN A UN CASO PRÁCTICO	
8.1 Exigencias técnicas del producto: cumplimiento CTE DB HR	83
8.2 Impacto medioambiental de las soluciones	93
9. CONCLUSIONES	98
10. BIBLIOGRAFÍA	100
11. APÉNDICE FIGURAS	106
12. ANEXOS	114

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y a mi hermano.

A mis compañeras Marta Domínguez, Maria del Carmen Ostos y Maria Rosa Hinojosa, por la ayuda en la realización del trabajo.

A mi tutora Paloma Rubio de Hita y a los profesores Diego César Frustaglia y Enrique D. Fernández Nieto, por guiarme en esta investigación.



RESUMEN_ PALABRAS CLAVES

El SARS-CoV-2 ha traído, además de una crisis sanitaria, una problemática medioambiental. Los hospitales, junto con los sistemas de gestión de residuos de todos los países, se han visto saturados frente a la avalancha del plástico desechable.

El principal objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es aportar desde el campo de la arquitectura una solución que ayude a reducir la producción de residuos sanitarios, entre ellos los Equipos de Protección Individual. Mediante la reutilización del plástico aplicado a productos del sector de construcción, se pueden mejorar las condiciones acústicas de los espacios.

Con esta propuesta, cobra ventaja la arquitectura y la tierra; y en un futuro el ser humano.

Plástico / COVID-19 / Reutilizar / EPI / Batas quirúrgicas / Monos de protección / Absorbente Acústico / Arquitectura sostenible

ABSTRACT_ KEY WORDS

SARS-CoV-2 has brought, in addition to a health crisis, an environmental problem. Hospitals, along with waste management systems in all countries, have been overwhelmed by the amount of disposable plastic.

The main goal of this Final Degree Project is to provide a solution from the field of architecture that helps reduce the production of sanitary waste, including Individual Protection Equipment. By reusing plastic applied to products in the construction sector, the acoustic conditions of spaces can be improved.

With this proposal, architecture and Earth gain an advantage; and in the future the human being do it.

Plastic / COVID-19 / Reuse / PPE / Overalls / Acoustic absorbent / Sustainable architecture

Foto: UNICEF/Parvez Ahmad



1. ESTUDIO PREVIO

1.1 ¿Qué es el plástico y cuáles son sus propiedades?

Denominamos plástico a un componente sintético o semisintético.[1] Es un material orgánico, al igual que la madera, el papel o la lana. "Las materias primas utilizadas para su elaboración son elementos naturales como la celulosa, el carbón, el gas natural, la sal y el petróleo, que debe procesarse antes de ser utilizado".[2] A lo largo de los años, ha continuado evolucionando mediante la modificación química de sus materiales naturales, tales como, el caucho, la nitrocelulosa, el colágeno o la galalita.

Lo que entendemos como plásticos modernos responden a la gran diversidad de materiales complementarios sintéticos, que aparecieron hace unos 100 años.[3] Las propiedades más destacadas de la mayoría de los plásticos, aunque no siempre se cumplen en todos, son su conductividad, su resistencia, su combustibilidad y su plasticidad.

1.2 ¿Qué es el plástico y cuáles son sus propiedades?

Hay una gran variedad de plásticos, pero podemos clasificarlos en dos grupos. Los termoplásticos que se caracterizan principalmente por tener la capacidad de derretirse y volver a ser moldeados después de ser fabricados. Los termoestables que no pueden volver a moldearse después de su fabricación.[4] Dentro de estas dos familias podemos diferenciar varios tipos:

TERMOPLÁSTICOS

- Policloruro de vinilo (PVC)
- Poliestireno expandido (EPS)
- Poliolefinas (PP, PE-LD, PE-HD); Las poliolefinas son una familia de termoplásticos de polietileno y polipropileno. Se producen principalmente a partir del petróleo y el gas natural mediante un proceso de polimerización del etileno y el propileno respectivamente. Su versatilidad las convierte en uno de los plásticos más utilizados hoy en día. [4]

PLÁSTICOS TERMOESTABLES

- Resinas epoxi
- Fluoropolímeros
- Poliuretanos (PUR)

1.3 El problema de los plásticos y el medio ambiente. El reciclaje como solución.

Hoy en día la producción de plástico se presenta como una de las actividades más devastadoras para la contaminación climática y ambiental que sufre el planeta, con consecuencias perjudiciales para los ecosistemas terrestres y sobre todo marinos. Todo ello debido a su versatilidad, durabilidad, así como su aporte de ligereza y a su baja densidad, además de ser un material que nos proporciona unas excelentes propiedades de aislamiento térmico y eléctrico.

Los productos poliméricos se han convertido en una necesidad del día a día. Sin embargo, la actual incapacidad de la sociedad para deshacerse de la elevada producción de plásticos de un solo uso lleva al planeta a una situación insostenible.

La producción global de plásticos se ha disparado en los últimos 50 años, y en especial en las últimas décadas. De hecho, en los últimos diez años hemos producido más plástico que en toda la historia de la humanidad. La producción mundial de esta materia alcanzó un máximo de 368 millones de Toneladas en 2019,[6] de las cuales el 16% fueron producidas por Europa [Figura 1]. Este hecho situó al continente como la tercera potencia mundial relacionada con la producción de plástico, solo superada por Asia (51%), que produjo algo más de la mitad de los plásticos del mundo, y Norteamérica (19%).

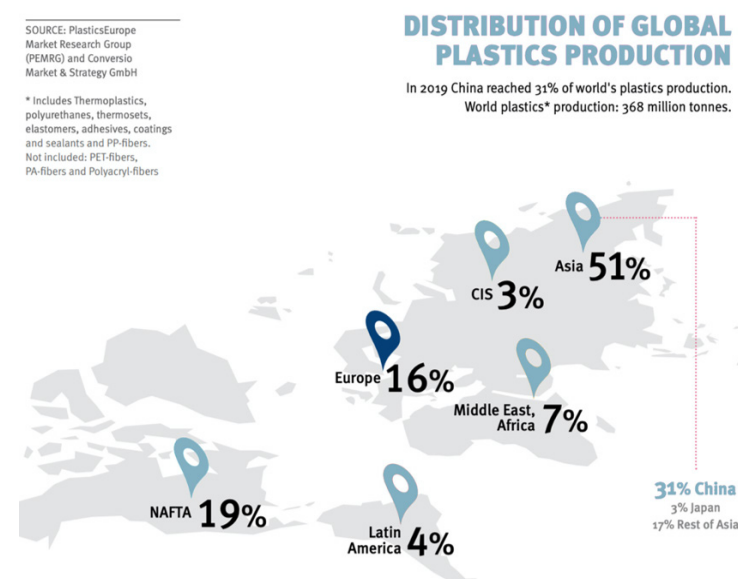


Figura 1. Producción mundial de plásticos. Fuente: Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021

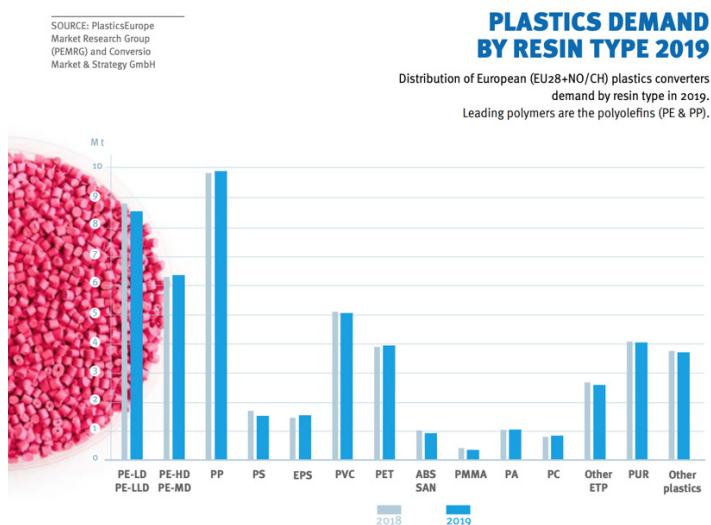


Figura 2. Demanda Europea de plásticos 2019. Fuente: Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021

La demanda de plásticos en Europa en 2019 [Figura 2] está liderada por las poliolefinas (PE y PP), que representa el 49,2% [6] del total de plástico fabricado en la UE (19,4% de PP, 17,4% de PE-LD y 12,4% de PE-HD). Cómo podemos observar prácticamente la mitad de la demanda de plásticos corresponde a este tipo de plástico, que es el material que utilizaremos posteriormente.

Debido a que una gran parte de la producción de plástico se destina a productos de un solo uso, el balance anual entre la producción y la tasa de reciclaje muestra un resultado negativo. Actualmente, el 60% de los productos y piezas de plástico tienen una fase de uso de entre 1 y 50 años, o incluso más. Este lapso de tiempo determina cuando se convertirán potencialmente en residuos. Por eso, en un mismo año, la cantidad de residuos de plástico recogidos no se corresponde con la cantidad de producción o consumo.

En 2018, a nivel Europeo se recogieron 29,1 millones de toneladas de residuos de plástico en la UE28+NO/CH para ser tratados, [6] mientras que el resto acabó en vertederos ilegales o directamente en el medio marino y terrestre. Además, sólo el 32,5% del total de residuos recogidos se recicló y el 42,6% se utilizó para la recuperación de energía. El 24,9% siguió yendo a parar a los vertederos, incinerándose con la emisión de gases contaminantes a la atmósfera que ello conlleva. Actualmente, los ecosistemas marinos son los más perjudicados por la contaminación por plásticos, ya que el mar es el sumidero por excelencia de los residuos de la Tierra. Se estima que la cantidad de basura marina en todo el mundo oscila entre 6,4 y 8 mT al año, de las cuales el 80% corresponde a residuos plásticos. [Figura 3]

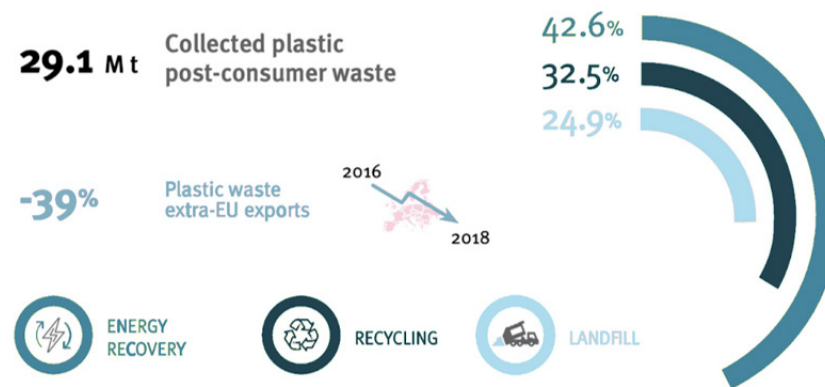


Figura 3. Post-consumo Europa de plásticos 2018. Fuente: Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021

En 2018, en España se recogieron 2,5 millones de toneladas de residuos de plástico para ser tratados. [6] De los cuales, solo el 41,9% del total de residuos recogidos se reciclaron (mayor porcentaje que UE) y el 19,3% se utilizó para la recuperación de energía (menor que UE). Sin embargo, el 38,8% acabó en vertederos (mucho mayor que el de la UE), aunque se debe destacar que este porcentaje lleva bajando desde 2007. [Figura 4]

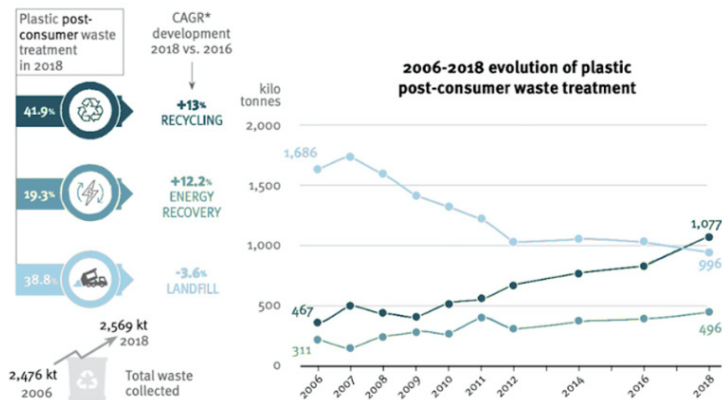


Figura 4. Postconsumo España de plásticos 2018. Fuente: Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021

En 2018 se produjeron cerca de 5 millones de toneladas de reciclados de plástico en las instalaciones de reciclaje europeas. Cuando los plásticos llegan al fin de su vida una posible solución es su reciclaje (en los mejores casos puede hacerlo hasta 5 ó 7 veces), este proceso comienza con una separación de los productos, se trituran en trozos más pequeños, se le realiza una limpieza para eliminar posibles restos de polvo, suciedad y finalmente se vuelven a clasificar para su futura reutilización.

PLASTICS: MECHANICAL RECYCLING PROCESS

In 2018, close to 5 million tonnes of plastic recyclates were produced in European recycling facilities.



Figura 5. Mecanismo de reciclaje del plástico. Fuente: Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021



2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 Origen y problemática del COVID-19. La pandemia del plástico.

La COVID-19 [8] hace referencia a una enfermedad infecciosa causada por el coronavirus. El brote vírico fue declarado oficialmente como pandemia por la Organización Mundial de la Salud [9] el 11 de marzo de 2020. Es así, como la enfermedad se expandió por todos los países del mundo causando miles de contagios y colapsando los sistemas sanitarios que han intentado desde un principio poner freno a la enfermedad.

La investigación de la OMS sobre la transmisión del nuevo coronavirus apuntaba al contagio de persona a persona a partir de un contagio, por lo que el confinamiento en España y en muchos otros países se hizo dueño de las vidas de sus ciudadanos por decenas de días. Más tarde, con el levantamiento de la cuarentena, la OMS alertaba sobre la importancia de mantener distancia de seguridad entre personas, el lavado de manos constante y uso obligatorio de mascarillas en espacios públicos tanto lugares cerrados, como al aire libre. [10]

El parón de las actividades diarias de millones de ciudadanos dió un respiro a la contaminación del planeta, pues según un artículo de *The conversation*, plataforma científica, la cuarentena mundial proporcionó “el saneamiento de la capa de ozono y la mejora de la calidad del aire y de las aguas” (Eljarrat, 2020). [11] Este hecho se hacía notar en ciudades españolas como Madrid o Barcelona. Es así como, las consecuencias radicales de la interrupción de la movilidad han permitido mejorar la calidad del aire en el ambiente en cuanto a partículas en suspensión y emisiones expulsadas a la atmósfera. Según señala el investigador del CSIC, Xavier Querol Carceller, en una entrevista para la Universidad Internacional de Andalucía, “hasta el mes de junio del año 2020, el planeta redujo un 8,8% las emisiones de CO² en comparación con el año anterior, cuando normalmente se incrementa cada año en torno a 1,5%. En España, esta reducción fue del 18,8%”. [12]



Figura 6. Evolución en la investigación sobre la enfermedad del COVID-19 según CSIC. Fuente: CSIC

El SARS-CoV-2 tuvo otras consecuencias nocivas para el medio ambiente, como el aumento de consumo del plástico de un solo uso, el cual iba a ser restringido a partir de 2021 en multitud de países debido a la contaminación ambiental que conlleva el residuo. [13]

El resurgimiento del material en forma de mascarillas, guantes, batas o monos de Equipos de Protección Individuales [14] tiene como finalidad evitar el contagio de la enfermedad para la sociedad. Esto trae consigo una producción masiva del plástico desechable, que en el caso de España y sólo desde el inicio de la pandemia hasta tres meses más tarde, la demanda del material trajo consigo grandes cifras: “*hasta el 22 de mayo de 2020 se han distribuido a comunidades autónomas y otros organismos más de 113 millones de mascarillas, más de 36 millones de guantes de nitrilo, más de 210.000 gafas de protección y más de 353.000 batas. (...) A escala internacional, y según datos recogidos por los servicios aduaneros chinos, en el mes de marzo China vendió cerca de 3.860 millones de mascarillas a los países afectados por la pandemia, además de 37,5 millones de trajes de protección.*” (Adeline, 2020). [13]

Según un informe de *PlasticsEurope* [6] en su agenda publicada para 2020, desde el año 2018 la producción del plástico en Europa había sufrido una caída que, con la llegada del COVID-19, se intensificó debido a la necesidad y demanda del material en forma de mascarillas, batas y otros elementos fundamentales utilizados en las plantas hospitalarias.

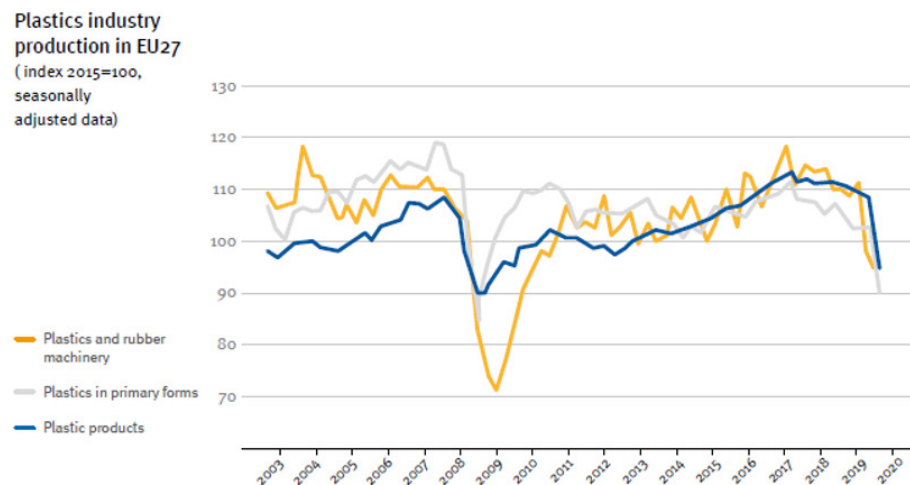


Figura 7. Evolución en la producción de plástico en Europa. Fuente: *PlasticsEurope*. *Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021*

Tal y como apunta *PlasticsEurope*, el nivel de producción de plásticos que había sufrido un declive antes del comienzo de la pandemia, no se alcanzará antes de 2022.

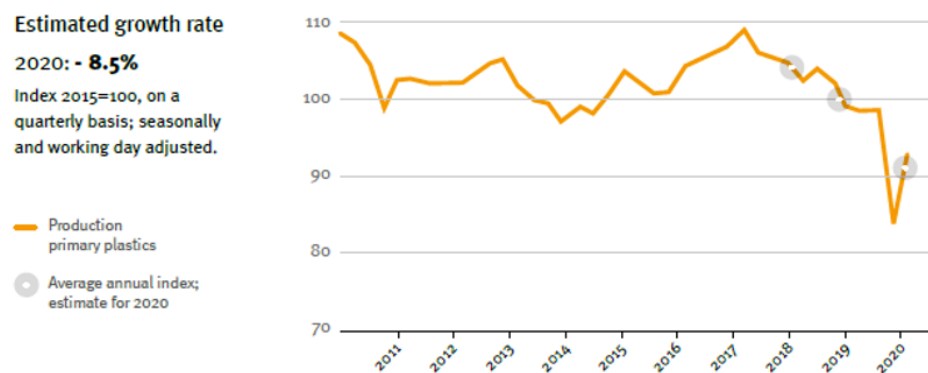


Figura 8. Crecimiento en la producción de plástico en Europa. Fuente: *PlasticsEurope*. *Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021*

“No debemos olvidar que la contaminación por plásticos es uno de los principales problemas ambientales del planeta según el último informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) publicado en 2019” (Eljarrat, 2020). [11]

En una entrevista del SiNC (Servicio de Información y Noticias Científicas), la investigadora en el *Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA)* del CSIC de Barcelona, Ethel Eljarrat, añade *“la pandemia ha cambiado completamente nuestros hábitos de uso de plástico. Este material de usar y tirar se ha convertido en el preferido por la sociedad ante el miedo al contagio y habrá que esperar a que se resuelva la pandemia para volver a concienciar sobre la problemática de los residuos.”* (Eljarrat, 2020) [11]



Este tipo de vestuario EPI tiene la obligatoriedad de cumplir con la *Norma UNE-EN 14126:2004* que considera ensayos especiales de resistencia a la penetración de microorganismos. Según lo publicado por el *Ministerio de Sanidad del Gobierno de España* [Figura 9] en febrero de 2021 [17], se indica:


	Marcado de Conformidad ²¹	Marcado relacionado con la protección ofrecida	Normas UNE aplicables ²²	Aspectos a considerar
Prendas de Protección Parcial del cuerpo (PB): Bata delantal manguitos etc Cuerpo completo: Mono (con/sin capucha)	CE como EPI + número identificativo del organismo notificado que hace el control de la producción	EN 14126  NR de Tipo B	UNE-EN 14126 (Ropa de protección biológica)	Este tipo de ropa puede ofrecer distintos niveles de hermeticidad tanto en su material como en su diseño, cubriendo parcialmente el cuerpo como batas, delantales, etc., o el cuerpo completo. En la designación, se incluye el Tipo y la letra B (de Biológico). Para protección adicional en alguna zona, como cierta impermeabilidad, también puede recurrirse a delantales de protección química que cumplen con la norma UNE-EN 14605, denominados Tipos PB [3] y PB [4] de protección biológica, pueden ser adecuados para el uso de protección contra salpicaduras mencionado o para complementar una bata que no sea un EPI.

Figura 9. Componentes del equipo de protección individual recomendados para la protección frente al nuevo coronavirus SARS-COV-2. Fuente: Gobierno de España

2.2 El material sanitario en la pandemia. Batas y monos EPI

La utilización del plástico de usar y tirar para los EPI es fundamental. Es un material económico y duradero que interesa para poner freno al virus. Con la pandemia, *“la generación de residuos hospitalarios se ha incrementado de forma exponencial. Por ejemplo, los residuos generados en los hospitales asturianos se han multiplicado por cuatro, estimándose en unas 185 toneladas durante el mes de abril de 2020”* (Eljarrat, 2020) o los generados en las residencias de ancianos, donde sólo en Valencia capital, *“se han recogido 134 toneladas de residuos procedentes de 20 residencias en menos de un mes”* (Eljarrat, 2020).[11]

Las batas o monos EPI de uso hospitalarios se consideran materiales contaminados, por lo que su reutilización tiene una solución muy lejana. Normalmente son incinerados o depositados en el contenedor gris.

El vestuario utilizado por los sanitarios como batas o monos EPI, requiere de la necesidad de proteger a los mismos frente a la penetración de líquidos que puedan estar en contacto con el organismo. Estos deben ser siempre monouso, desechables e impermeables. Encontramos así la variedad según el momento de su utilización o el sector hospitalario al que va dedicado: delantales de protección, batas, monos o buzos impermeables.[15] La mayoría de batas o monos EPI contienen una etiqueta que muestra la categoría EPI que le corresponde y el tipo de protección a la que se enfrentan. Además, deben hacer frente a un certificado de examen UE debido a la importancia del campo donde van a ser utilizados, el hospital. La composición principal suele ser el plástico, el Polipropileno y el Polietileno.[16] En la mayoría de los casos estudiados de batas y monos de uso sanitario, han sido fabricadas en tela no tejida tipo *Spunbond* 25 g/m² 100% Polipropileno + 20 g/m² de película impermeable de Polietileno. El resultado es un equipo de protección que aparentemente tiene aspecto textil pero con una composición 100% plástica.

Estos, como hemos comentado anteriormente, deben ser desechables, de un solo uso, tal y como recomienda la OMS, ya que presenta la ventaja de que al eliminarse por incineración, se eviten fuentes de posible contagio en el caso de que la desinfección del EPI no se realice correctamente. [18]

La retirada del equipo es fundamental: quitar la bata, asegurándose que no se tocan ni las mangas ni la parte delantera es la recomendación del *Ministerio de Sanidad*. [19] Tras esta acción, el equipo de protección desechado debe ser depositado en contenedores adecuados, [Figura 10] siendo tratados como residuos biosanitarios de clase III. [18]

Por el momento, su reutilización no tiene cabida en la actualidad, según un informe del *Ministerio de Salud del Gobierno de El Salvador* sobre la esterilización de los EPIs: “es probable que los procesos físicos o químicos de esterilización de los trajes de protección, eliminen las propiedades aislantes del material y permita el paso de microorganismos, sin embargo, no existe evidencia científica que garantice que las propiedades del material no presenten cambios”.(López, A. Mejía, R. Quinteros, E. 2020) [19]



Figura 10. Contenedor de residuos sanitarios.

2.3 Problemas ambientales a partir del residuo contaminado.

La situación de emergencia.

La necesidad de frenar la propagación del virus ha propiciado el resurgimiento del plástico como material indispensable. Durante la emergencia sanitaria a la que nos enfrentamos desde principios de 2020, la problemática ambiental del plástico monouso ha resurgido. Desde la cuestión económica, la bajada del precio del petróleo ha causado que se abarate la producción de plástico. Las instalaciones de tratamiento térmico de residuos hospitalarios se han visto colapsadas desde el inicio de la pandemia. *"En la incineradora de Valdemingómez ya se han tratado más de 90 toneladas de residuos sanitarios desde principios del mes de abril de 2020"* (El-jarrat, 2020) [11]

El impacto del COVID-19 en el planeta proviene del aumento de residuos peligrosos y contaminantes que traen los EPI. La respuesta del PNUMA al *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente* frente al COVID-19 [20] se centra, principalmente, en:

- Educar cómo lidiar con las grandes cantidades de desechos médicos depositados durante la pandemia, potenciando así el reciclaje del proceso productivo.
- Apoyar una evaluación global de las capacidades de gestión de desechos médicos para ayudar a los países a integrar las estrategias para dar respuesta ante crisis.
- Revisar la normativa sobre gestión de residuos y formular lineamientos para adecuarla a las dificultades que genera la COVID-19.
- Separación, clasificación, almacenamiento y recolección de residuos COVID-19: plantear técnicas y métodos de gestión de residuos que promueven la seguridad ambiental como solución para almacenarlos temporalmente, evitar el vertido al aire libre y la incineración, que pueden llegar a causar más problemas de salud.
- Apoyar a los países a establecer nuevas infraestructuras para el tratamiento de desechos médicos.



Photo by Simon Davis - GFDL

Promover métodos alternativos para manejar los desechos contaminados generados durante una pandemia es esencial para minimizar los riesgos a largo plazo para la salud humana y ambiental. Un estudio realizado por el *Centro Internacional de Tecnología Ambiental* (IETC) del PNUMA y el *Instituto de Estrategia Ambiental Global* identificó las mejores prácticas y tecnologías, y brindó a los formuladores de políticas y profesionales recomendaciones a largo plazo para mejorar la gestión de desechos. Sobre la base de numerosas consultas, el informe presta especial atención a los países y ciudades en desarrollo que ya pueden carecer de una gestión adecuada de los desechos. [21]

Para la gestión de residuos sólidos, los municipios enfrentan el desafío de continuar brindando los servicios básicos de recogida y gestión, teniendo en cuenta los flujos de residuos potencialmente infecciosos que no paran de crecer y asegurando la protección de la vida de los trabajadores.

Organizaciones y asociaciones internacionales, como el PNUMA, ya han emitido pautas para eliminar desechos infecciosos con cautela. Sin embargo, muchas de esas guías están dirigidas a países desarrollados, ya que son mucho más capaces económicamente de establecer sistemas de recogida y reciclaje.

En la [Figura 11] “Riesgos y desafíos asociados con la gestión de desechos en la pandemia COVID-19” del informe “Waste Management during the COVID-19 Pandemic” elaborado conjuntamente por el *Centro Internacional de Tecnología Ambiental* (IETC) del PNUMA y el *Instituto de Estrategias Ambientales Globales* (IGES), [22] se extrae:



Figura 11. Riesgos y desafíos asociados a la gestión de residuos en la pandemia de COVID-19. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET

La Figura 11 muestra una mayor cantidad de infecciones en los centros médicos debido a la generación de residuos y el colapso del servicio de gestión de desechos de las plantas sanitarias. Además, indica la suspensión de actividades de reciclaje, así como, la capacidad insuficiente para el tratamiento y la eliminación de los residuos. Los hospitales, además de hacer frente a la enfermedad, tienen como reto administrar los materiales sanitarios desechados y contaminados diariamente, en una situación de emergencia.

Los gobiernos de varios países juegan un papel fundamental en la formulación de políticas que apoyen la responsabilidad de generar residuos en todo su ciclo, desde la producción de material sanitario hasta suprimir el mismo. Debido a las limitadas capacidades técnicas, la pandemia del coronavirus y el aumento de la cantidad de desechos médicos generados, han desafiado las políticas de gestión de todos los países, desarrollando nuevos esfuerzos para mejorar esta situación. En un cuestionario realizado a diferentes países por parte del informe “Waste Management during the COVID-19 Pandemic”, [22] se añade un cuestionario realizado a diferentes países sobre la gestión de residuos en cuanto a las etapas de separación de material (infeccioso o no infeccioso), almacenamiento, transporte y tratamiento, resultando:

Healthcare waste management options	Widely used methods	Second most commonly used methods	Additional methods
Source Separation	<ul style="list-style-type: none"> Separate into infectious and noninfectious, liquid, sharp and general waste 	<ul style="list-style-type: none"> Separate using specific colour-coded bins 	<ul style="list-style-type: none"> Separate at source Use of properly labelled separate bins Use double layered bags Maintain records of separated waste Disinfection of bags before they are tied
Storage	<ul style="list-style-type: none"> Use designated storage room 	<ul style="list-style-type: none"> Minimum 3 days storage before collection 	<ul style="list-style-type: none"> Use cold room Regular disinfection of storage area Close, lock and secure storage area Separate infectious waste from other HCW in the storage room Minimum 2 days storage before collection Depute dedicated sanitation workers
Transport	<ul style="list-style-type: none"> Use licensed and direct consignment contract with waste treatment Use of PPE for transportation workers 	<ul style="list-style-type: none"> Use covered vehicles 	<ul style="list-style-type: none"> Use specific vehicles and equipment used for transport waste Vehicles are labelled and use GPS tracking and brace systems Timely and frequent collection and transport Disinfection of bags/bins prior to loading the vehicle Keep records of waste transports
Treatment	<ul style="list-style-type: none"> Use of incineration Use of specific landfill sites Use of autoclaves 	<ul style="list-style-type: none"> Chemical disinfection or high-level disinfection 	<ul style="list-style-type: none"> Plasma pyrolysis Auto or dry heat Melting Microwave treatment Cement kiln Burning in open container Deep burial Open landfill

Figura 12. Resumen de los resultados de la encuesta del cuestionario. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET

La Figura 13 del mismo informe [22] indica el tratamiento que debe tener el residuo en fase de respuesta ante la emergencia y en fase de recuperación de la misma, con el fin de mejorar la gestión de residuos sanitarios que evitan la propagación del COVID-19, así como, la preparación para eventos similares en el futuro:

Waste management methods	General MSW management including potentially infectious one	MSW management for identified quarantine locations with suspected and confirmed COVID-19 positive patients	Healthcare waste management from healthcare facilities
Emergency response phase	<ul style="list-style-type: none"> Use double bagged for potentially infectious waste Separate and keep recyclable materials at the source before being discharged Cut/destroy used disposable PPE to avoid reuse Seal the plastic bag when it is two-third full Awareness outreach for generators (source separation manner, recyclable material concern, stop littering and open burning, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Separate infectious waste (contaminated mix waste) including masks, gloves and tissues Use double bagged for potentially infectious waste Keep recyclable materials and non-medical hazardous waste (such as e-waste and batteries) for a certain period (until patients are cured) Awareness outreach for generators (separation of infectious waste with others, stop littering and open burning, etc.) If cities are finding difficulties in separating waste at source, at minimum it requires to requiring households with COVID19 positive people or people in mandatory quarantine to take precautionary measures when handling their waste, it is appropriate that all citizens are encouraged to follow instructions on safe handling and delivering of waste for collection, in particular package and close a strong bag properly and labelling 	<ul style="list-style-type: none"> Prepare to use colored containers and/or proper labelling according to the waste categories in each ward Separate reusable and recyclable materials Promote use of PPE by workers in healthcare facilities Provide training for workers in healthcare facilities
Recovery phase	<ul style="list-style-type: none"> Refuse/reduce single use plastic (and plastic products) and encourage use of cloth masks as per WHO guidelines Promote separation at source 	<ul style="list-style-type: none"> Refuse/reduce single use plastic (and plastic products) 	<ul style="list-style-type: none"> Secure PPE for preparedness

Figura 13. Tratamiento del residuo. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET

Como observamos, en etapa de emergencia sanitaria, los consejos se centran en el buen tratamiento de los desechos infecciosos, así como su separación según el producto que se trate. La fase de recuperación apuesta por promover y fortalecer el tratamiento de residuos en ocasiones de emergencia, en cuanto a la clasificación de desechos y la reducción de utilización de materiales plásticos, sobre todo, aquellos de un solo uso, como es el caso de los trajes de protección.

En circunstancias normales, la tasa media de generación de residuos sanitarios según el tipo de centro médico se indica en la siguiente tabla recogida en el informe "Waste Management during the COVID-19 Pandemic" [22]. Con esta información, podemos concluir que los centros de maternidad y los hospitales son aquellos que mayor cantidad de desechos producen. El volumen de generación de residuos sanitarios se estima según las tasas medias por tipo de instalación, de tal modo:

Facility	Total Healthcare Waste Generation Rate	Infectious Healthcare Waste Generation Rate
Hospital	2 kg/bed-day	0.5kg/bed-day
Clinic	0.02 kg/patient-day	0.007 kg/patient-day
Maternity Center	5 kg/patient-day	3 kg/patient-day
Clinical Laboratory	0.06 kg/test-day	0.02 kg/test-day
Basic Health Unit	0.04 kg/patient-day	0.01 kg/patient-day

Figura 14. Tasas medias de generación de residuos por tipo de instalación. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET

Así mismo, el Centro Internacional de Tecnología Ambiental (IETC) del PNUMA y el Instituto de Estrategias Ambientales Globales (IGES) elabora una encuesta a diferentes países seleccionados sobre la cantidad de generación de desechos sanitarios en cuanto a toneladas por día antes del comienzo de la pandemia, donde se obtiene los siguientes resultados:



Figura 15. Cantidad de residuos sanitarios generados (Toneladas por día) en los países seleccionados. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET

Desde la llegada del SARS-COV-2, estas cifras se han multiplicado, colapsando el sistema de gestión de residuos. Los desechos sanitarios generados durante el coronavirus en instalaciones hospitalarias está asociado a 3,4 kg/persona/día. De tal modo, que la cantidad adicional estimada en cada ciudad debido a la COVID-19, resultaría:

City	Population (World Population Review)	healthcare waste generated (tonnes/day before COVID-19)	Estimated additional healthcare waste generation (tonnes/day during COVID-19)	Percentage of increase due to COVID-19
Manila	14 million	47	280	496
Jakarta	10.6 million	35	212	506
Bangkok	10.5 million	35	210	500
Ha Noi	8 million	27	160	493
Kuala Lumpur	7.7 million	26	154	492

Figura 16. Estimación de la cantidad adicional de HCH en cada ciudad debido a la pandemia de COVID-19. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET

Observamos que los porcentajes de incremento de basura sanitaria debido a la pandemia llega a ser en algunas ciudades del 506%. Esto significa miles de toneladas al mes, una situación devastadora para la contaminación mundial. Es esencial que en estos momentos de emergencia sanitaria donde la producción de residuos contaminados se hace insostenible en todo el mundo, se fomente la toma de decisiones llevando a cabo no solo la recuperación del sistema de reciclaje como también la concienciación de toda la sociedad. Si la política nacional aún no está disponible y preparada, el aumento de la conciencia pública y participación comunitaria puede ayudar a alcanzar el éxito del sistema de gestión de desechos sanitarios.

Las políticas deben desarrollarse y coordinarse a nivel mundial. Lograr esto es el objetivo del centro IGES que colabora con el PNUMA en cuestiones ambientales y con el *Centro Internacional de Tecnología Ambiental de las Naciones Unidas* (UNEP-IETC).

El informe "Waste Management during the COVID-19 Pandemic" [22] ha elaborado un gráfico según el porcentaje de legislaciones y decisiones adoptadas por los diferentes continentes para la gestión de los residuos generados en las plantas sanitarias.

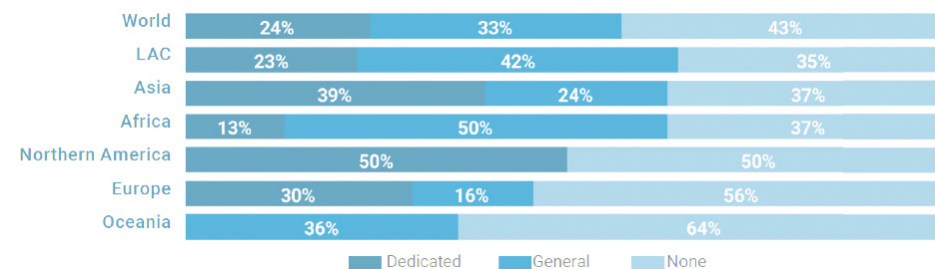


Figura 17. Porcentaje de países por región con legislación adoptada sobre la gestión de residuos sanitarios. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET.

Observamos que únicamente un poco más de la mitad de los países han promulgado leyes sobre la administración de desechos médicos, y que solo una cuarta parte de los países han adoptado una legislación específica. La regulación de desechos médicos cubren al 80% de la población mundial. Este porcentaje parece relativamente elevado, sin embargo, la parte restante de la población incluye a más de mil millones de personas. Un resultado que llama la atención es el de Europa, que suele ser el continente que adopta más legislaciones relacionadas con flujos de residuos específicos y en este caso, la cobertura legal de la gestión de desechos sanitarios es muy baja.



2.4 Posibles soluciones de descontaminación. Concienciación y reutilización.

Actualmente, no se baraja la posibilidad de descontaminación de las batas o monos EPI que utilizan los sanitarios. Como se ha comentado anteriormente, se consideran materiales altamente contaminados, los cuales se depositan en el contenedor de residuos biosanitarios de clase III para, posteriormente, ser incinerados. El informe elaborado por el IETC y el IGES, [22] recoge los pros y contra del sistema de incineración de desechos médicos:

Pros:	Cons:
<ul style="list-style-type: none"> • Significant reduction of waste volume and weight • Ensure decontamination (combustion at minimum 800-degree Celsius temperature) • No post treatment needed for final disposal 	<ul style="list-style-type: none"> • High energy requirement • The combustion of health-care waste produces mainly gaseous emissions, including steam, carbon dioxide • Nitrogen oxides, a range of volatile substances (e.g. metals, halogenic acids, products of incomplete combustion) • Potential emissions of carcinogens • Particulate matter, plus solid residues in the form of ashes, which are to be treated as toxic

Figura 18. Pros y contras de la aplicación de la opción de incineración. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET.

Entre las ventajas de la incineración encontramos la reducción significativa del volumen y el peso de los residuos y la descontaminación asegurada mediante su combustión a alta temperatura. Los inconvenientes que se enumeran es el alto requerimiento de energía, así como, la contaminación que genera debido a la combustión de desechos sanitarios que producen principalmente emisiones gaseosas nocivas.

¿Sería posible llevar a cabo el reciclaje del vestuario utilizado por los sanitarios en las plantas COVID?

Si seguimos el mismo procedimiento que utilizan las empresas mencionadas para proceder a la desinfección de las batas EPI, podríamos lograr que tuviesen otro destino que no fuese el fondo de los océanos contaminados o el interior de la tierra. Además, no sería necesario establecer puntos de recogida en las ciudades, pues, este equipo se utiliza mayoritariamente en las plantas de hospitales, por lo que, nos habríamos ahorrado un paso: los equipos se encuentran depositados en los contenedores de residuos biosanitarios de clase III.

Un estudio elaborado por el *Hospital Quirón Salud de Torrevieja*, propone la “Validación de un método de desinfección de equipos de protección personal mediante el procedimiento de desinfección de superficies por vía aérea, utilizando aerosol seco.” (Ruiz et al, 2020,p.1). [24]

El ensayo baraja la posibilidad de dar una segunda vida a los equipos de protección, en concreto a las batas sanitarias, debido a la escasez de productos para el personal sanitario. Su desinfección supondría volver a utilizarlos y disminuir la producción y desecho del plástico de un solo uso. Es así cómo se elige una solución de peróxido de hidrógeno al 9% y ácido peracético 0,25% (*Terminal Forte SR®*) para proceder a la desinfección debido a que por un lado, tiene compatibilidad con la composición de los equipos de protección y por otro, “los monos de protección biológica están fabricados a base de polietileno y las batas quirúrgicas con polipropileno. El polietileno y el polipropileno utilizado en su fabricación es un material llamado tejido sin tejer que se fabrica fusionando fibras de polietileno o polipropileno que son compatibles con la DSWA con peróxido de hidrógeno y ácido peracético a las concentraciones descritas. El segundo motivo fue por la inocuidad sobre los equipos electrónicos (incluso en funcionamiento) y metales, así como el respeto medio ambiental de los productos utilizados, ya que se transforman en oxígeno y agua como productos finales”, describen los autores del ensayo. (Ruiz et al, 2020,p.14) [24]



Figura 19. Recinto y 100 equipos de protección para la desinfección. Fuente: Hospital Quirón Salud Torrevieja.

Dar una segunda vida a los materiales plásticos sanitarios, como es el caso de los trajes de protección, podría ser una solución interesante para ayudar a poner freno a la contaminación que provoca su desecho para el medioambiente y que tendrá repercusión mundial incluso cuando la pandemia del COVID-19 haya sido controlada.

La OMS recomienda no reutilizar estos productos para su uso en las plantas hospitalarias, ya que se reconoce como material altamente contaminado. Sin embargo, empresas como *ReWorked*, *TerraCycle* o *Plaxtil* han comenzado a barajar la posibilidad de reciclar las mascarillas tipo quirúrgicas. La última, establece puntos de recogida de mascarillas contaminadas por toda Francia, tras su cuarentena en un depósito sellado, las mascarillas pasan por un túnel de desinfección donde son descontaminadas por una luz ultravioleta de muy corta longitud de onda.

El secreto de este ciclo, que le da una nueva vida a las mascarillas fabricadas de Polipropileno, se encuentra en el triturado y la preparación del tejido para unirlo al polímero virgen. El campo de los nuevos objetos fabricados mediante el material reciclado, suele ser la construcción. *Plaxtil* elabora abrepuestas o estructuras de visera a partir de las mascarillas de Polipropileno. [23]

Se plantea así un recinto para la desinfección de batas quirúrgicas suficiente para realizar los ciclos de desinfección. Entre unos equipos de protección y otros se deja unos 20 cm de separación, para garantizar el correcto proceso. Primero, se contaminan las batas: *“mediante una torunda, con una muestra conjunta de exudado nasofaríngeo de 3 pacientes que resultaron positivos para el SARSCoV-2 en la prueba PCR”*. (Ruiz et al, 2020,p.10) [24]

A continuación, con el uso de una máquina *Nouvair* (que expulsa la solución de peróxido de hidrógeno al 9% y ácido peracético al 0,25% micronebulizado), colocada en el centro de la sala, se procede a la desinfección. Una vez terminado el ensayo con una duración de 4 horas, se toman las muestras, etiquetadas y enviadas al laboratorio de inmunología del mismo hospital. El resultado, según enuncian los autores, fue satisfactorio: *“de las 22 muestras tomadas 4 horas después de finalizar el ciclo de desinfección, 18 resultaron negativas y 4 dieron un resultado no concluyente, que posteriormente fueron negativas”*. (Ruiz et al, 2020,p.11) [24]

La alternativa de reutilización de los EPI, se puede afirmar que es eficaz y segura según el estudio. Además, evitar el plástico monouso con esta metodología que no supone un riesgo para la salud del personal y que tiene compatibilidad con la composición de los monos y batas quirúrgicas, es algo favorable en la gestión de desechos sanitarios: *“cada mono o bata de quirófano fue calificada para un máximo de 5 usos, lo que implica 4 procesos de DSVA, habiéndose realizado un total de 11 ciclos de desinfección, lo que ha supuesto el procesamiento de 1100 equipos entre monos y batas quirúrgicas, siendo los controles de calidad establecidos satisfactorios en todo momento.”* (Ruiz et al, 2020,p.15) [24]



Figura 20. Dimensiones y disposición del recinto utilizado para la desinfección. Fuente: Hospital Quirón Salud Torrevieja



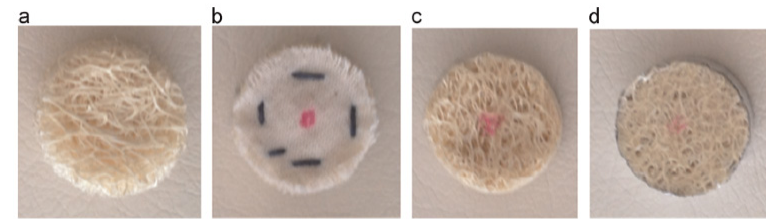


Fig. 1. Luffa test samples: luffa fiber sample (a), luffa fiber sample with a perforated linen (b), luffa composite samples with the epoxy/luffa volume fraction values $V_e/V_f=0.2/0.8$ (c) and $V_e/V_f=0.4/0.6$ (d).

Figura 21. Realización de las 4 probetas. Fuente: Materials Letters. Investigation of the acoustic Properties of luffa fiber and composite materials

Dicho material lo comprimen con una prensa para que quede como una única pieza.

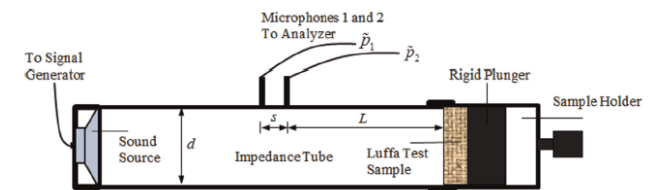


Fig. 2. The impedance tube test setup where two microphones are used to measure sound pressures inside the tube.

Figura 22. Realización del ensayo Tubo de Kundt. Fuente: Materials Letters. Investigation of the acoustic Properties of luffa fiber and composite materials

Los resultados del ensayo destacan que el coeficiente de absorción es bastante alto aunque la muestra sea pequeña y que incluso puede aumentar cuando se cubre con una fibra de lino.

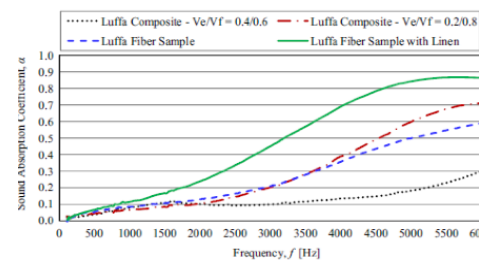


Fig. 3. Sound absorption coefficients of different luffa samples.

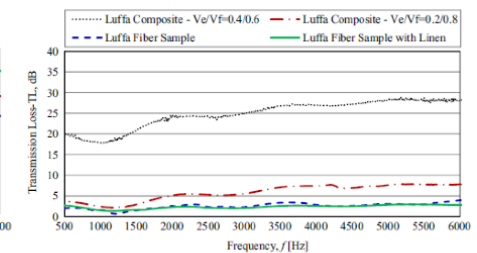


Fig. 4. Transmission loss levels for different luffa samples.

Figura 23. Resultados acústicos. Fuente: Materials Letters. Investigation of the acoustic Properties of luffa fiber and composite materials

2.5 Estudios de referencia

Investigación de las propiedades acústicas de la fibra de bio luffa y materiales compuestos. [25]

En este artículo se estudia la rigidez del material y de las fibras que lo componen y el comportamiento de estas cuando se entrelazan unas con otras ya que su comportamiento estructural es prácticamente insignificante y por ello pueden funcionar bien acústicamente.

Elaboran 4 probetas [Figura 21] constituidas de diferente forma, cubierto por un lino fino, otro tejido y las dos últimas variando el volumen de la muestra en sí.

Propiedades acústicas de los residuos agroforestales de las fibras de poda de naranja compuestos de polipropileno reforzado como alternativa a laminados placas de yeso. [26]

Es un estudio donde se refuerzan los compuestos de polipropileno con fibras de poda de naranjo como aislamiento acústico. Es destacable como las propiedades mecánicas y su ligereza se asemejan a las capas impermeables de los paneles de yeso laminado utilizados en obra.

Estudiaron la cantidad de refuerzo aplicada al material, entre el 20% y el 50%, así como, la incidencia de las propiedades acústicas sobre las fibras. Las pruebas se desarrollaron mediante un tubo de impedancia, tubo de kundt, para comprobar la absorción del refuerzo, además se podría reducir en 2dB su aislamiento aumentando el porcentaje de fibras.

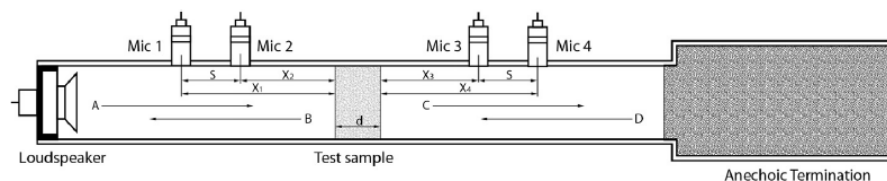


Figura 24. Ensayo acústico en Tubo de Kundt. Fuente: Construction and building materials. Acoustic properties of agroforestry waste orange pruning fibers reinforced polypropylene composites as an alternative to laminated gypsum boards.

De forma significativa se redujo la transmisión del sonido con cantidades de refuerzo superiores al 20% para frecuencias medias y altas. "Y para contenidos superiores al 40-50% la insonorización se mantuvo saturada" (Reixach et al., 2015, p. 4) [26]

Table 1
Main characteristics of the tested specimens.

Material	Young's modulus E (GPa)	Thickness (mm)	Mass (kg/m ²)	Critical frequency (Hz)
MP 20%	2.8	15	14.8	2372
MP 30%	3.7	15	14.8	—
MP 40%	4.3	15	14.8	—
MP 50%	5.1	15	14.8	—
TMP 30%	3.1	15	14.8	2600
CTMP 30%	2.9	15	14.8	2687

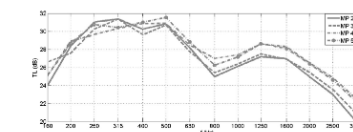
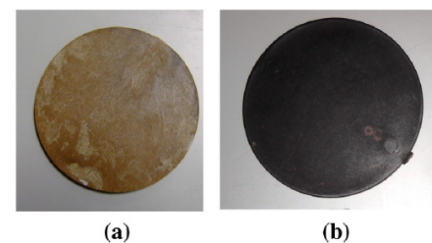


Fig. 4. Transmission loss against the frequency for the 20-50% mechanical pulp polypropylene reinforced composite materials.

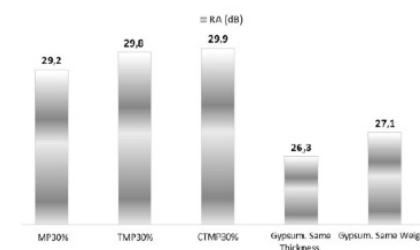
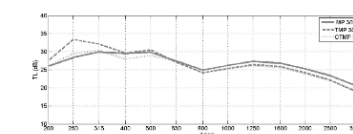


Figura 25. Características y resultados de las probetas. Fuente: Construction and building materials. Acoustic properties of agroforestry waste orange pruning fibers reinforced polypropylene composites as an alternative to laminated gypsum boards.

Se compararon varios tipos de placas de yeso laminado con las de los composites reforzados con las fibras de naranjo. Independientemente de las masas y los espesores, este último material frente a la insonorización de las ondas sonoras siempre fue superior a las placas de yeso. De la misma forma, se comprobó que existe una diferencia de entre 2 y 3 dB de absorción que el de las placas de yeso.

Se comprobó de esta forma que se pueden utilizar como solución para aislamiento acústico en edificios, aunque también es posible aplicarlo a automóviles u otros productos. En el artículo también aclaran que sería necesario realizar un estudio sobre su ciclo de vida para estudiar el impacto ambiental sustituyéndolo por tableros de yeso y así poder saber si reciclar estos materiales reducen la necesidad energética para obtener materias primas.

Influencia de las fibras de polipropileno en el comportamiento térmico y acústico de hormigón de áridos gruesos de carbón sin tratar. [27]

En este estudio se realizaron 15 probetas de hormigón diferentes contenidos de polipropileno, 0%, 1% y 2% y entre un 0% y 30% de carbón sin tratar como reemplazo del natural. Un dato a destacar de este estudio es que se mejora de forma considerable su comportamiento al aislamiento acústico del hormigón.

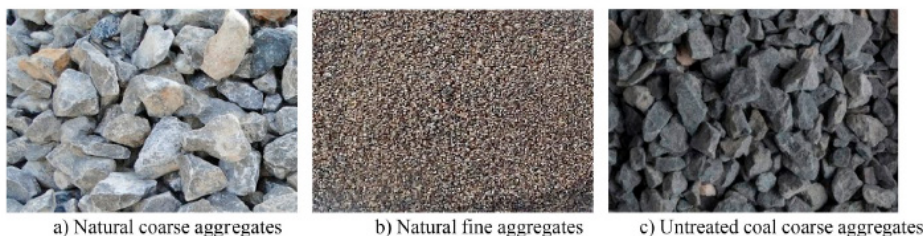


Figura 26. Materiales utilizados en el estudio. Fuente: Journal of Building Engineering. Influence of polypropylene fibres on the thermal and acoustic behaviour of untreated coal coarse aggregates concrete.

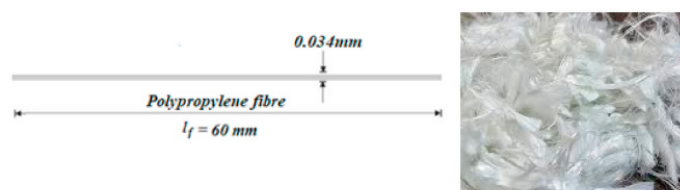


Figura 27. Tamaño de las fibras de polipropileno. Fuente: Journal of Building Engineering. Influence of polypropylene fibres on the thermal and acoustic behaviour of untreated coal coarse aggregates

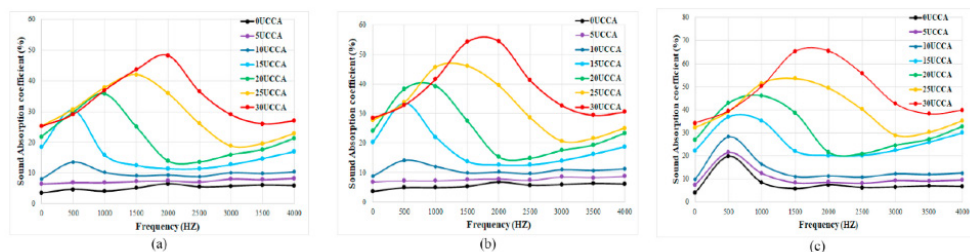


Figura 28. Resultados acústicos. Fuente: Journal of Building Engineering. Influence of polypropylene fibres on the thermal and acoustic behaviour of untreated coal coarse aggregates concrete.

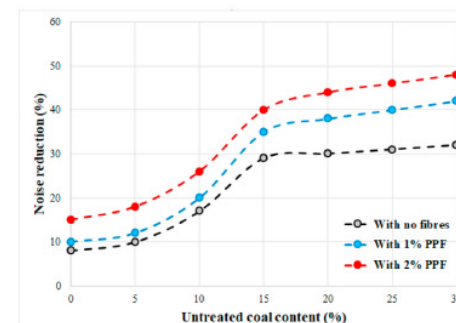


Figura 29. Resultados acústicos. Fuente: Journal of Building Engineering. Influence of polypropylene fibres on the thermal and acoustic behaviour of untreated coal coarse aggregates concrete.

Las conclusiones que se pueden sacar de estos experimentos son las siguientes:

- Al incorporar hasta un 10% de polipropileno se redujo la trabajabilidad de hormigón.
- La densidad aparente disminuyó ligeramente usando el carbón sin tratar aunque aumentó un poco por el peso unitario de las fibras de polipropileno, por lo que al aumentar un 2% de PP con 5% de carbón sin tratar aumentó su densidad aparente hasta un 7%.
- Las propiedades del hormigón tanto a compresión como a tracción mejoraron considerablemente con la adición de PP.
- La porosidad del hormigón, se vió afectada, reduciéndose, al añadir PP y mejoró la resistencia eléctrica. Mejoró en un 24%. La conductividad térmica se consiguió reducir con la adición de PP de hasta en un 15%.
- La frecuencia de 2000 Hz puede ser absorbida cuando el 30% de agregado de gruesos naturales es reemplazado con los gruesos de carbón sin tratar y el 2% de fibras de polipropileno, con un coeficiente de absorción del 67%. "The frequency of 2000 Hz can be absorbed when 30% NCA is replaced with UCCA and 2% PPF are also added, with an absorption coefficient of 67%." (Karimipour et al., 2021, p.1) [27]
- Además, el coeficiente de absorción acústica para picos de 500, 100, 1500 y 2000 Hz fueron mejorados respectivamente por 31%, 42%, 48% y 62% cuando se usó el 15%, 20%, 25% y 30% de carbón sin tratar junto con el 2% de PP. "In addition, the sound absorption coefficient for peaks of 500, 100, 1500 and 2000 Hz improved respectively by 31%, 42%, 48% and 62% when 15%, 20%, 25% and 30% UUCA was used and 2% PPF were also added." (Karimipour et al., 2021, p.15) [27]

Diseño, simulaciones e investigación experimental en el proceso de desarrollo de placa perforada fonoabsorbente. [28]

En este estudio se verifica rendimiento acústico de las placas de yeso perforado utilizadas en los falsos techos como absorbente acústico. El estudio consiste en lograr una buena absorción acústica en el producto, realizando ensayos en el Tubo de Kundt.

Este asunto de conseguir el coeficiente de absorción de paneles con orificios y capa porosa ha sido planteado ya por varios científicos. (Kłosak, A. K. (2020)) Además cita que los paneles pueden ser diseñados específicamente para reducir la reverberación en una frecuencia concreta y dependen en gran medida de la disposición de las perforaciones.

Se compara las placas como si fuera un múltiples resonadores de Helmholtz que trabajan a la vez. Se explica que si la frecuencia de la onda generada que se acerca al panel es parecida a su resonancia, el aire produce vibraciones en los bordes y las paredes de los orificios y descienden notoriamente debido a la fuerza de fricción que se efectúa en la capa porosa.

Los aspectos que tienen en cuenta son el grosor que tiene el panel, el tamaño de las perforaciones, y la ubicación y grosor del material poroso. Normalmente su utilización es para absorber bajas y medias frecuencias. Los dos ejemplos de agujeros utilizados se ven reflejados en la Figura 30.

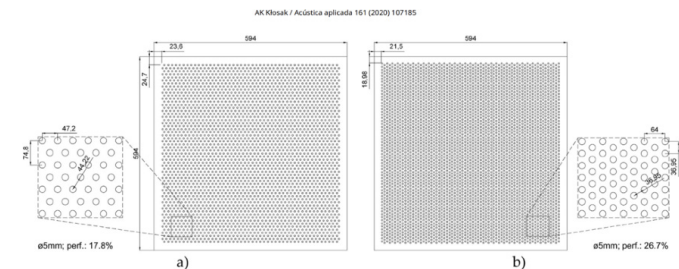


Figura 30. Ejemplo de dos patrones con diferente ratio de perforación, para los cuales (entre otros) se realizó el test de preferencia visual. Los dos patrones utilizan perforaciones de 5 mm de diámetro, dispuestos en diagonal. Cada uno con diferente grado de perforación a= 17,8% y b=26,7%.

Las medidas de absorción acústica de las muestras se realizaron en el tubo de Kundt. Se utilizó un tubo de tipo SW422, fabricado por BSWA con diámetro interior de 100 mm, un micrófono y un portamuestras [Figura 33]. Las probetas se colocaron a distintas distancias del pistón trasero (50 mm, 100 mm, 200 mm). Las muestras fueron medidas dos veces.

En la Figura 31 se muestra los resultados de los cálculos de aire específico resistencia al flujo de nueve tejidos porosos fabricados en Europa. Y sirvió para contrastar la influencia de esos tejidos porosos con respecto a la absorción acústica del material.

tabla 1

Resultados de las mediciones de la resistencia específica al flujo de aire de diferentes tejidos porosos disponibles en el mercado europeo (a partir de 2014).

Muestra identificación	Flujo de aire específico resistencia		Flujo de aire resistividad		Material grosor [metro metro]
	R_s [Pa * s / m]	Std Dev	r [Pa * s / m ²]	Std Dev.	
1	265	10	1556	59	170
2	333	21	2084	132	160
3	211	10	1439	63	147
4	353	19	2465	135	143
5	521	35	3255	217	160
6	375	26	3046	220	123
7	250	10	1664	68	150
8	269	9	1034	36	260
9	245	10	941	38	260

Figura 31. Resultados de cálculo de aire específico resistencia al flujo de nueve tejidos porosos.

Por otro lado, se contrastaron los resultados de absorción acústica comparando las diferentes perforaciones para ver su incidencia en este parámetro. En la Figura 32 se puede ver las curvas de absorción, con dos materiales porosos distintos, y varios espesores de placa, de 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm, y 12 mm. Con este sistema se consigue saber que con relaciones de perforación mayores se consiguen mejores resultados con respecto a la absorción. Por lo que se llega a la conclusión que el agujero realizado en la placa tiene que superar el grosor del panel, y si esto no es posible, no debería ser mucho menor.

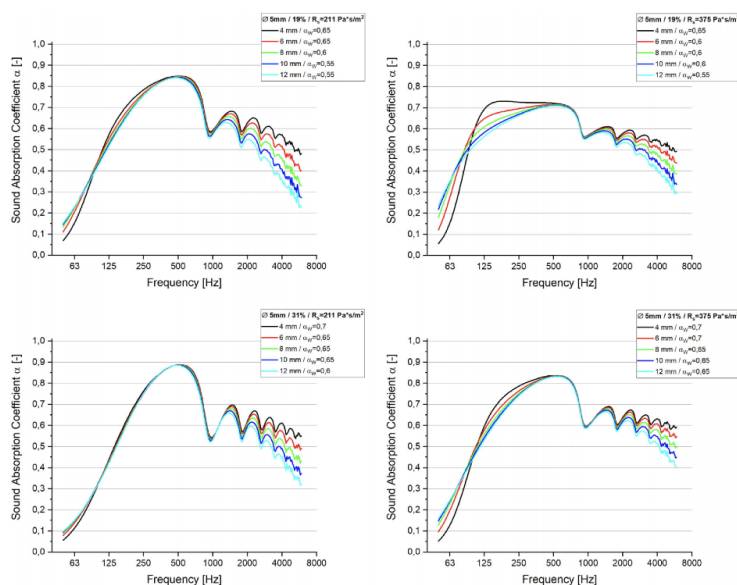


Figura 32. Gráficas de las soluciones numéricas de la influencia del espesor del panel.

Después de realizar los trabajos previos, continuaron la investigación fabricando las probetas circulares de yeso con sus perforaciones Figura 33. A continuación realizaron los ensayos pertinentes para conseguir el resultado del coeficiente de absorción de incidencia normal en el Tubo de Kundt, y finalmente su análisis.

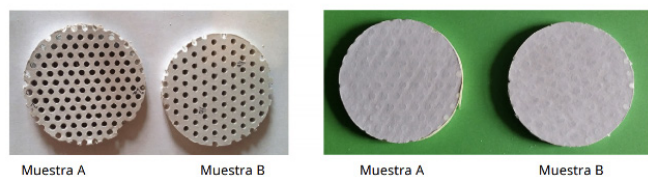


Figura 33. Fotografías de las distintas perforaciones que tiene cada muestra de probeta, para su posterior medición en el tubo de Kundt. La densidad de la placa es 700 kg/m³ y el tejido poroso corresponde al 6 de la figura 31.

La muestra A tenía una cantidad de perforación equivalente al 31%, y la muestra B del 19%. Las perforaciones siguen un orden diagonal con agujeros de 5 mm de diámetro. Cada una de ellas tenía un grosor de 8,5 mm. Ya que es el grosor mínimo que soportaba la rigidez del panel con ese nivel de orificios, y que además fuera capaz de vencer cargas adicionales, como lámparas o altavoces. El material poroso colocado en la parte posterior es el de 6 pulgadas [Figura 31].

Como ya hemos dicho anteriormente los ensayos se realizaron con tres distancias diferentes entre las placas y la pared rígida (50 mm, 100 mm, 200 mm) sin la capa de lana mineral [Figura 34]. Y luego, se repitieron las mediciones con esas mismas distancias añadiendo dos tipos de lana mineral. Por un lado encontramos lana de roca y por otro lado, lana de vidrio [Figura 35].

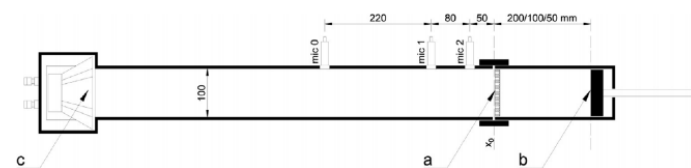


Fig. 3. Sección esquemática del tubo de impedancia utilizado en el presente estudio (a: espécimen; b: pistón móvil que simula una pared rígida; c: altavoz).

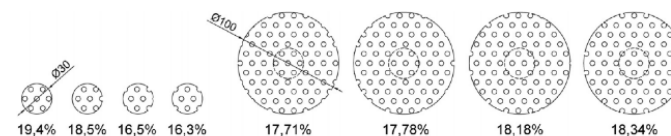


Figura 34. Sección esquemática del tubo de impedancia - Influencia del diámetro del tubo y la posición del corte en la relación de perforación efectiva para una muestra perforada con un diámetro de orificio de 5 mm.



Figura 35. Ilustraciones de las muestras para las medidas del tubo de impedancia de dos tipos de lana mineral

Una vez realizados, se compararon las propiedades de absorción acústica de ambas probetas A y B. Y como podemos ver en la Figura 36, cuando se añadió la capa de lana mineral de 50 mm, la importancia que tiene su introducción. Se midió la absorción de incidencia normal con 150 mm detrás del material nuevo creado. La adición del material poroso amplió el ancho de banda de absorción acústica y disminuyó el valor máximo de la frecuencia de resonancia. [Figura 37]

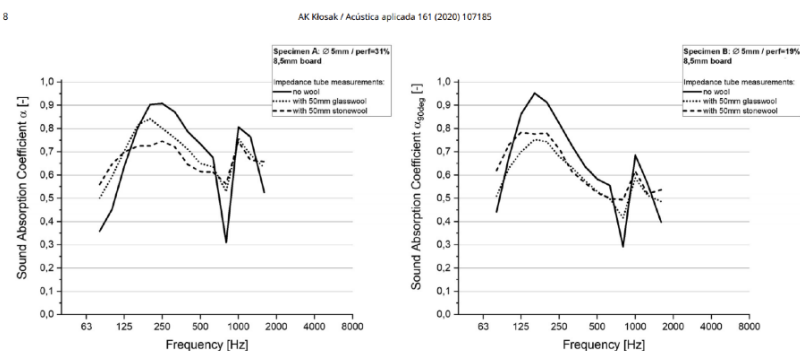


Figura 36. Comparación de la influencia de la adición de lana mineral en la absorción acústica medida en el tubo de impedancia de la muestra A y B. Se ensayaron dos tipos de lana mineral de 50 mm: lana de vidrio (15,3 kg/m³) y lana de roca (40 kg/m³). El plenum era de 200mm (150 detrás de la lana mineral)

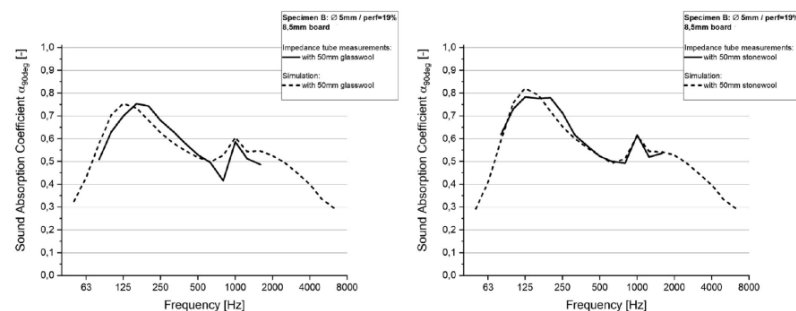


Figura 37. Comparación de la influencia de la adición de lana mineral en la absorción acústica medida en el tubo de impedancia de la muestra B. Se ensayaron dos tipos de lana mineral de 50 mm: lana de vidrio (15,3 kg/m³, $r = 20,0 \text{ kPa} \cdot \text{s} / \text{m}^2$) y lana de roca (40,0 kg/m³, $r = 15,8 \text{ kPa} \cdot \text{s} / \text{m}^2$). El espacio aéreo detrás del panel era de 200 mm (150 mm detrás de la lana mineral).

Figura 37. Comparación de la influencia de la adición de lana mineral en la absorción acústica medida en el tubo de impedancia de la muestra B. Se ensayaron dos tipos de lana mineral de 50 mm: lana de vidrio (15,3 kg/m³) y lana de roca (40 kg/m³). El plenum era de 200mm (150 detrás de la lana mineral)



3. OBJETIVOS

El nuevo coronavirus SARS-COV-2 ha producido una crisis sanitaria y económica que ha afectado a nivel mundial. Desde nuestro campo de estudio, nos resulta de interés centrarnos en las consecuencias medioambientales que la COVID-19 ha producido, como es el aumento del plástico monouso debido a la demanda y necesidad de Equipos de Protección Individuales en el intento de hacer frente al contagio de la enfermedad. Para hacer conciencia y poner remedio a la cantidad de plástico desechado, proponemos dar una segunda vida al material en el ámbito de la construcción.

3.1 Objetivos generales

Entre los objetivos globales que vamos a tratar en este trabajo de investigación encontramos:

- La investigación sobre la problemática de los materiales plásticos con respecto a la COVID-19.
- Estudio de nuevos materiales para la construcción a partir de materiales plásticos reciclados, para una mejora ecoeficiente del mismo.
- Elaboración de una metodología experimental para el desarrollo del nuevo material a partir de una hipótesis de partida.
- Aplicación del material propuesto a un caso práctico del campo de la construcción.
- Realización de una comparativa de nuestro producto elaborado con residuos con productos de casas comerciales, en cuanto a las mejoras económicas, acústicas y medioambientales.

3.2 Objetivos específicos

Profundizando en el material elegido los objetivos específicos son:

- Investigación con respecto al Polipropileno y al Polietileno que componen las batas y monos EPI, y dotarlo de una segunda vida tras ser tratado y desinfectado.
- Prolongar la vida útil de algunos materiales plásticos que son difíciles de reutilizar.
- Analizar los comportamientos del material a los diferentes porcentajes de aditivos plásticos.
- Clasificar nuestro material sometiéndose a ensayos de absorción acústica. Concluir en posibles aplicaciones en el sector de la construcción al nuevo material con respecto a los resultados obtenidos.

4. HIPÓTESIS DE PARTIDA

Tras una búsqueda exhaustiva del estado de la cuestión que engloba nuestro objeto de estudio, se detectan más casos experimentales que buscan mejorar características en los materiales constructivos tales como ligereza o aumento en la resistencia de plásticos mezclado con yeso. No obstante se ha profundizado en los casos que inciden sobre la absorción acústica en materiales, en base a los ensayos y la metodología utilizada en estos estudios, basamos nuestra hipótesis.

Una propiedad que se tiene en cuenta en la mayoría de los estudios con materiales plásticos es la resistencia al agua del material, ya que se produce una gran mejora en estos valores. Pero en este caso no se realizará ninguna prueba que incluya la impermeabilización, ya que se destinará su aplicación a revestimientos interiores.

Para un control acústico podemos diferenciar dos posibilidades; la primera, con una placa perforada, y la segunda, con un velo de mono EPI poroso. Nuestro caso abarca estas dos posibilidades, utilizando placas de yeso con distintas perforaciones, y por otro lado la disposición de velos detrás de estas. Además, ensayamos la opción de que para las diferentes porosidades, colocamos más o menos cantidad de tiras de batas EPI para un mismo volumen, jugando así con la densidad.

La finalidad que queremos alcanzar es la mejora global que conseguimos con el nuevo material, tanto acústicas, económicas y medioambientales.



5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el correcto desarrollo de esta investigación se ha realizado un exhaustivo proceso de conocimiento sobre el material a estudiar: trajes de protección utilizados por sanitarios, incluyendo así, batas y monos EPI, con especial hincapié en el material que los componen, el Polipropileno y Polietileno. Estudiamos así la problemática referida a la crisis sanitaria de la COVID-19 en cuanto al aumento de la producción y consumo de plástico desechable que ha hecho que en el último año la contaminación medioambiental haya crecido.

Actualmente, en general, con la concienciación de la sociedad se ha conseguido que los procesos de reciclaje vayan en aumento, lo cual hace que se puedan generar nuevos productos a partir de lo ya usado. Es por esto que aparece la idea de la reutilización de un material muy usado durante el último año en el ámbito sanitario y que ha generado grandes cantidades de residuos para aplicarlo a una mejora aislante en el sector de la construcción y así estudiar las posibles soluciones acústicas que puede proporcionar este material.

La investigación sobre el proceso de aplicación se desarrollará de la siguiente forma:

1. Análisis bibliográfico y estudio del estado actual, adquiriendo unos conocimientos previos con la finalidad de elaborar un análisis contextualizado y justificado.
2. Realización de ensayos previos a laboratorio para el conocimiento básico del comportamiento del material.
3. Elaboración de fase experimental en laboratorio, con la realización de probetas y ensayos.
4. Recopilación de datos obtenidos en esa fase experimental.
5. Aplicación del producto a un caso real
6. Análisis, comparación y conclusión



6. PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL

6.1 Introducción a la metodología y a la normativa de aplicación

El estudio previo sobre el residuo plástico, así como, sobre las batas y monos de protección personal utilizados y desechados una vez han sido usados en las plantas hospitalarias, nos conduce a la investigación de los componentes que conforman ese tejido no tejido: el Polipropileno y el Polietileno. Una vez que indagamos sobre el material, proponemos una serie de hipótesis las cuales aceptaremos o descartaremos según los resultados obtenidos en cuanto a la capacidad de absorción acústica.

Utilizaremos de esta manera, probetas obtenidas a partir de la mezcla de agua y yeso. Para ello, se plantea una dosificación teniendo en cuenta la siguiente relación: 0,55 gramos de agua por cada gramo de yeso. Estas muestras estarán sometidas a una variación de perforaciones, sobre las cuales obtendremos diferentes resultados. Además, se irá cambiando la cantidad de residuo. Utilizaremos así, el desecho en dos configuraciones diferentes: la primera **en forma de velo o capa y la segunda en tiras entrelazadas entre sí**, cuya cantidad se irá variando. Las muestras han sido realizadas en el Laboratorio de Construcción de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura con el uso de materiales propios del departamento.

Las probetas cilíndricas perforadas, estarán sometidas a ensayos que determinarán su absorción acústica. Para ello, utilizaremos el Tubo de Kundt en el Laboratorio del departamento de Física. Con este instrumento, podemos determinar el coeficiente de absorción acústica en las diferentes configuraciones de nuestro material propuesto. La norma reguladora de este ensayo es la *UNE-EN ISO 10534-1:2002. Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria.* [29]

6.2 Elaboración y dosificación de las probetas

En nuestro caso, hemos optado por realizar **ensayos acústicos**, descartando la posibilidad de realizar pruebas enfocadas a la resistencia. Esta decisión ha sido fruto del residuo elegido, que como hemos comentado anteriormente, se trata de un tejido no tejido que se fabrica fusionando fibras de polietileno y polipropileno y que debido a su aplicación como traje de protección, necesita obtener una porosidad determinada y a la vez una impermeabilidad que asegure la protección frente a penetración de agentes biológicos. Con estas características, partimos de la hipótesis de que podría mejorar las características de absorción acústica si se aplicase a materiales utilizados en la construcción.

Optamos, además, por elaborar dos probetas de una misma muestra, obteniendo así datos más certeros.

La cantidad de yeso y de agua, ha sido pesada y medida en básculas de precisión y jarras de medición dotadas por el Laboratorio de Construcción. Las mezclas, a su vez, han sido realizadas gracias a los instrumentos facilitados por el mismo departamento de Construcciones Arquitectónicas, en el cual, se dan unas condiciones ambientales no controladas y que varían de 20 a 25 °C.

Entre los instrumentos utilizados para elaborar las muestras, encontramos:

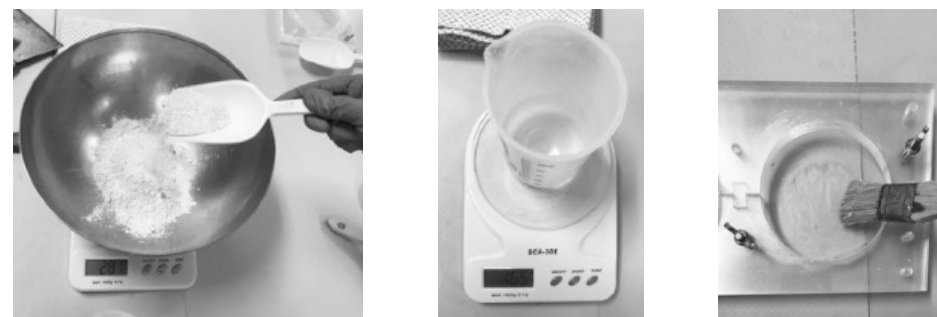


Figura 38. Materiales utilizados en la elaboración de probetas. Fuente: elaboración propia.

El primer paso para la fabricación de probetas, fue tarar el recipiente utilizado para pesar el yeso y la jarra utilizada para medir el agua, para posteriormente, pesar el yeso y agua. El yeso facilitado por el laboratorio es del tipo B1/50/2.

La relación yeso-agua, viene determinada en función del peso del yeso. Así como, la cantidad de agua, se determina en función del peso del yeso, lo que vendría a ser un 55% de éste. Calculamos de esta manera, 0,55 gramos de agua por cada gramo de yeso. Antes del vertido de la mezcla, el portamuestras se ha tratado con desengrasante para facilitar su extracción.

Las cantidades que resultan son 150 gramos de yeso para cada molde, cuyas dimensiones son 10 cm de diámetro y 1,5 cm de grosor. Como hemos explicado, realizaremos dos pruebas para el mismo tipo de muestra, por lo que, el resultado final sería de 165 gramos de agua para 300 gramos de yeso. De tal mezcla obtenemos dos probetas en blanco, que quedan enrasadas en el portamuestras.



Figura 39. Mezcla de yeso y agua. Fuente: elaboración propia

En nuestro caso, no mezclaremos el residuo utilizado con el yeso y agua. Nuestra metodología se basará en la perforación de las probetas y la variación de la cantidad y densidad de residuo. De este modo, es necesario realizar las perforaciones en el momento de la elaboración de las muestras.

Usaremos dos configuraciones:

- La primera, contará con **tres orificios**. Para ello, utilizaremos filtros de cigarro debido a su exactitud en la forma del cilindro y su facilidad para retirarlo una vez que el yeso esté seco. Su diámetro es de 8 milímetros, mientras que su radio de 4. Colocamos tres filtros de cigarro para realizar los orificios, quedando una abertura en cada uno de ellos con un área de $50,26 \text{ mm}^2$. Por lo que, la superficie total abierta resultaría de $150,3 \text{ mm}^2$.
- Para la segunda muestra, se quiere obtener el mismo área con solo **un orificio**. Por lo que, para $150,3 \text{ mm}^2$, se necesita un cilindro de 6,93 mm de radio. En este caso, se utilizará un cilindro de acetato realizado con el diámetro necesario.

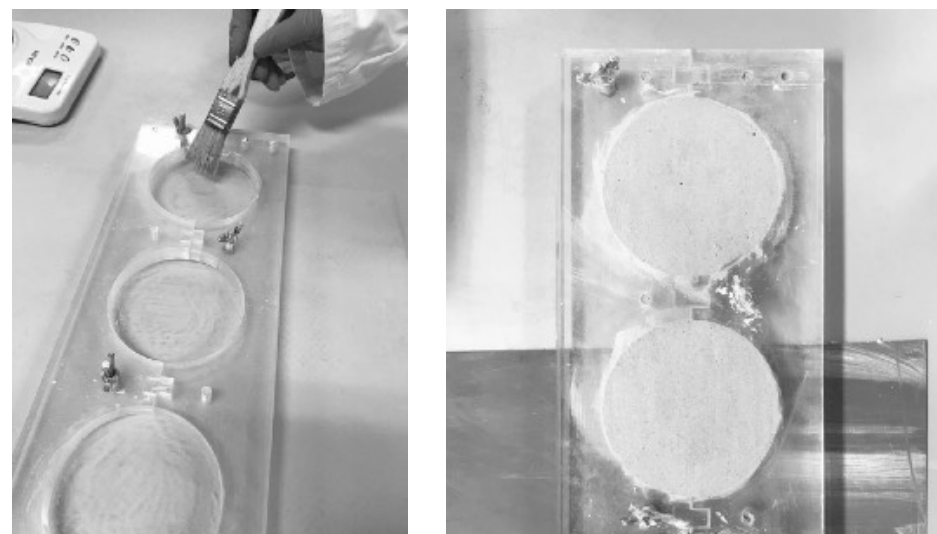


Figura 40. Elaboración de probetas en blanco. Fuente: elaboración propia

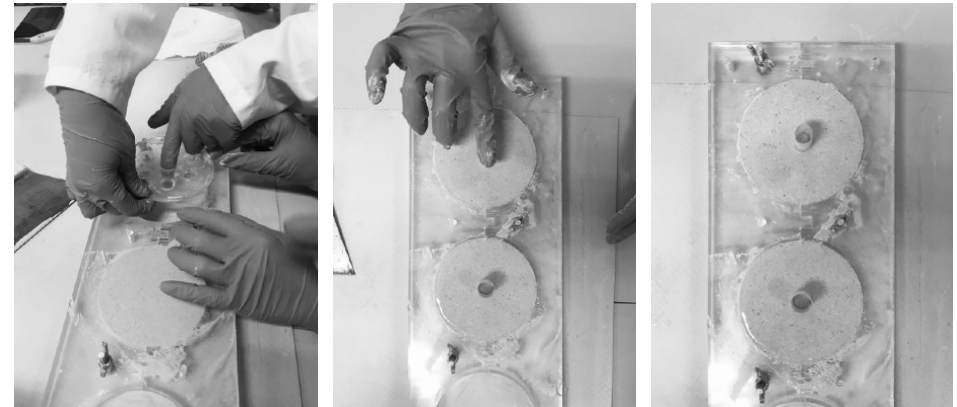


Figura 42. Proceso de elaboración de muestras con una perforación. Fuente: elaboración propia

El resultado final son dos probetas en blanco, dos con tres perforaciones y dos con un orificio.

Para cada una de las configuraciones, volvemos a fabricar dos probetas para que a la hora de realizar el ensayo, los datos resultantes sean la media de los obtenidos en ambas muestras, siendo así más certero el experimento. De este modo, la cantidad de yeso-agua serán las mismas utilizadas para la elaboración de los blancos: **165 gramos de agua para 300 gramos de yeso**. Al introducir los filtros de cigarro y el acetato, hay una mínima parte de la mezcla que sobra y que solucionaremos enrasando las probetas y retirando la parte restante.

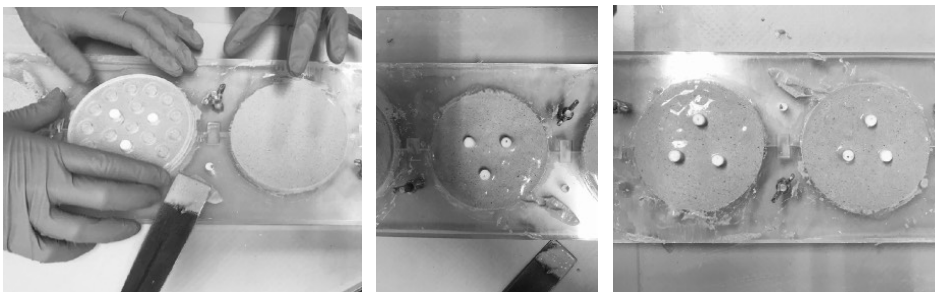


Figura 41. Proceso de elaboración de muestras con tres perforaciones. Fuente: elaboración propia

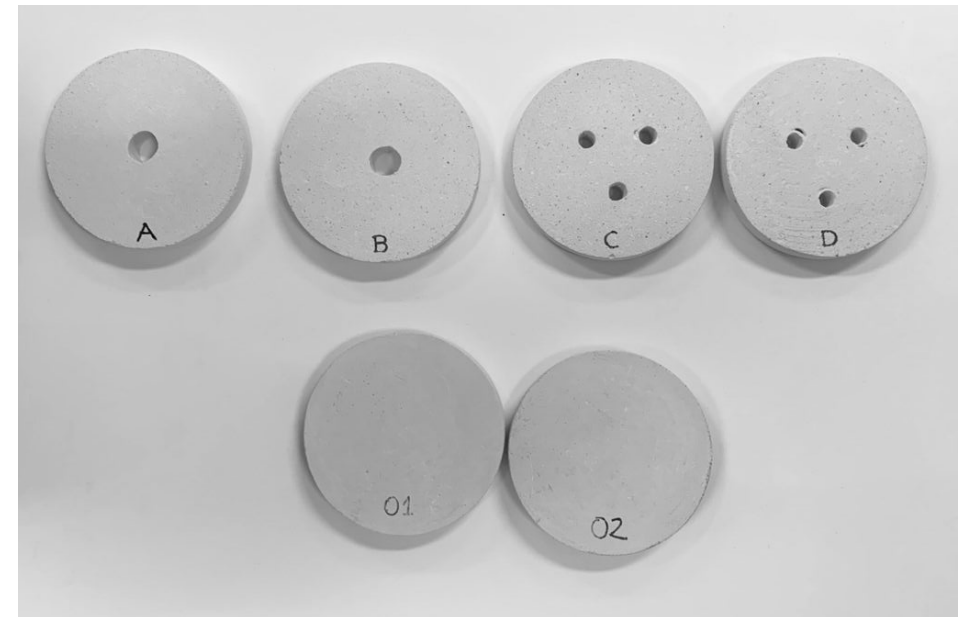


Figura 43. Configuraciones de perforación para realizar el ensayo. Fuente: elaboración propia

En el ensayo, hemos utilizado batas y monos sin usar, pero en la realidad, todos los trajes de protección que pasan a ser residuos se consideran altamente contaminados, hayan estado o no en contacto con el virus. Por protocolo COVID-19, los EPI utilizados por sanitarios en plantas hospitalarias, son desechados tras su uso en determinados contenedores, siendo tratados como residuos biosanitarios de clase III, para posteriormente introducirlos en incineradoras.

En este caso, los trajes de protección podrían ser desinfectados para poder realizar el ensayo. Hemos observado anteriormente, varios estudios y empresas que barajan ya la posibilidad de llevar a cabo una desinfección de EPI, tanto batas y monos, como mascarillas. La reutilización del material plástico que los conforma para un fin que no es el uso humano, sino el campo de la construcción, como lo que proponemos, podría ser una solución interesante para dar una segunda vida al residuo.

Indagamos sobre la composición del residuo utilizado: las batas quirúrgicas que cubren parcialmente el cuerpo están compuestas por un tejido sin tejer de polipropileno, mientras que, los monos de protección, que cubren casi la totalidad del cuerpo, se componen de una tela no tejida tipo *Spunbond* 25 g/m² 100% Polipropileno más 20 g/m² de película impermeable de Polietileno. El resultado de este último es el mismo que el de la bata quirúrgica pero con una lámina impermeable plástica que recubre el exterior del traje, haciéndolo así mucho más impermeable. Utilizamos así, el mono en forma de tiras largas entrelazadas de 210 x 5 mm, donde el aire se cuela entre ellas y la bata en forma de velo, al ser un material mucho más poroso que actuará como capa superficial.



Figura 44. Mono de protección y fragmento de bata quirúrgica utilizados en el ensayo.
Fuente: elaboración propia



6.4 Ensayo acústico

6.4.1 Metodología

Debemos llevar a cabo una fase previa antes de realizar el ensayo. En ella, se preparan las probetas de yeso en sus diferentes configuraciones mediante una lijadora que nos permitirá introducirlas sin problema en el portamuestras del Tubo de Kundt, quedando una superficie más lisa [Figura 45]. Por otro lado, se organiza el residuo cortándolo en sus diferentes formas, tal y como hemos mencionado anteriormente. Los velos o capas son un cilindro perfecto de las mismas dimensiones que la probeta de yeso fabricada, es decir, con un radio de 50 mm. Las tiras largas entrelazadas contarán con unas medidas de 210 mm de largo y 5 mm de ancho. Utilizaremos el Tubo de Kundt para realizar las mediciones de cada una de las muestras.



Figura 45. Preparación de las probetas con la lijadora. Fuente: elaboración propia

Una vez preparadas las muestras, establecemos una metodología para llevar a cabo la medición, que se puede resumir en el siguiente esquema:

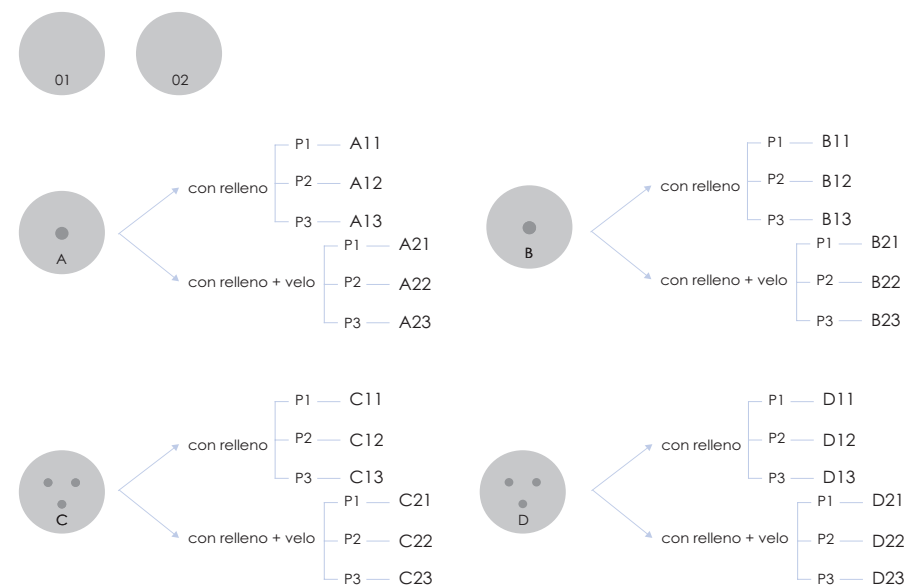
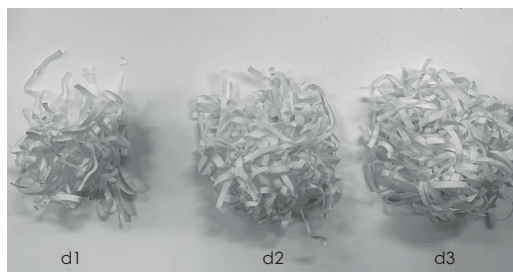


Figura 46. Esquema de metodología y nomenclaturas seguidas para realizar las mediciones.
Fuente: elaboración propia

Como observamos, las dos probetas blancas 01 y 02, serán las primeras en ser insertadas en el Tubo de Kundt [Figura 48]. Una vez medida la potencia máxima y mínima en ellas, se procede a realizar el ensayo en el resto de probetas. Por un lado, como hemos mencionado anteriormente, las probetas con un orificio, A y B, tendrán cuatro configuraciones: dos con relleno y dos con relleno y velo.

El relleno de tiras largas entrelazadas obtenidas de los monos de protección variará su cantidad, obteniendo así un cambio de densidad [Figura 47]:



$d1 < d2 < d3$

$P1 = P_t/2 = 4,25 \text{ g} \rightarrow d1 = 0,017 \text{ g/cm}^3$
 $P2 = P_t * 3/4 = 7,10 \text{ g} \rightarrow d2 = 0,025 \text{ g/cm}^3$
 $P3 = P_{total} = 9,51 \text{ g} \rightarrow d3 = 0,034 \text{ g/cm}^3$

Figura 47. Esquema de metodología y nomenclaturas seguidas para realizar las mediciones.
Fuente: elaboración propia

De este modo y tras haber obtenido la medición de las probetas de yeso en blanco, se realiza primero el ensayo de las probetas con un orificio y todos los pesos, a continuación, las probetas con tres perforaciones y cada uno de los rellenos, para, finalmente, pegar el velo a las muestras y realizar el mismo procedimiento seguido hasta ahora: primero las de un orificio, con velo y todos los pesos y más tarde, las de tres perforaciones con velo y cada uno de los rellenos. Se extraen así un total de treinta mediciones.

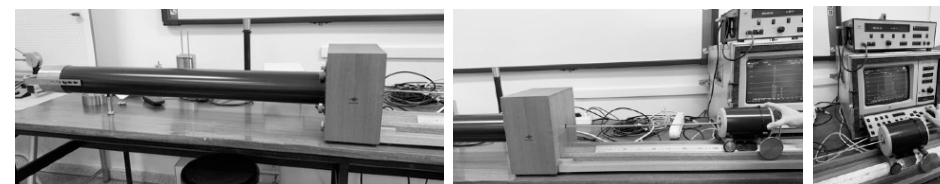


Figura 48. Instrumentos utilizados para el ensayo Tubo de Kundt. Fuente: elaboración propia

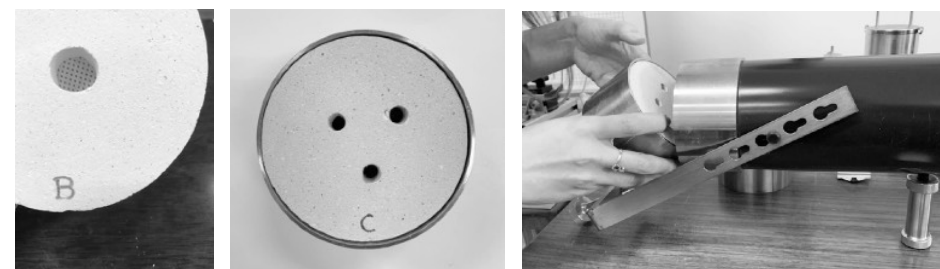


Figura 49. Colocación de las probetas en Tubo de Kundt. Fuente: elaboración propia

Mediremos para 250 Hz, 500 Hz y 1000 Hz y 2500 Hz, las presiones máximas y mínimas consecutivas de la onda estacionaria para obtener el coeficiente α de absorción acústica, que nos dará información de la capacidad aislante del material.

6.4.2 Análisis de los resultados

Los datos obtenidos se refieren a los valores máximos y mínimos de la onda estacionaria, los cuales serán seleccionados para obtener el coeficiente α de absorción acústica, con la aplicación de la siguiente fórmula:

$$P_{\text{máx}} / P_{\text{mín}} = n;$$

a partir de la cual se obtiene: $\alpha_{\text{nor}} = 1 - r^2 = 4 \cdot n / (n+1)^2$

A partir de los resultados del ensayo, elaboramos unas gráficas donde podremos observar cómo se comportan las muestras para cada frecuencia:

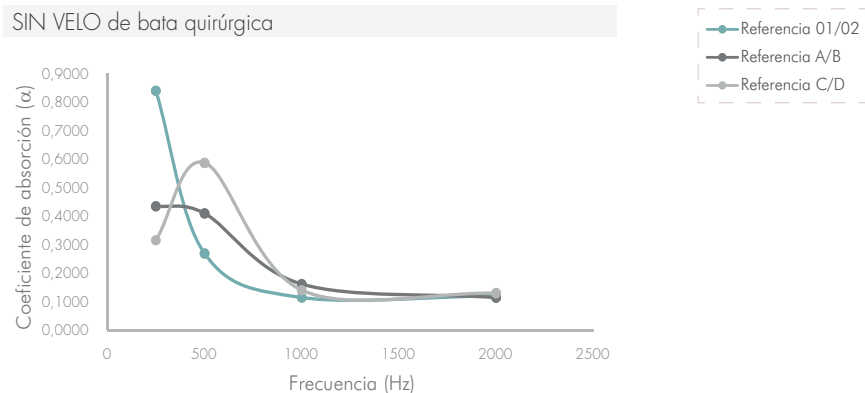


Figura 50. Gráfica A: relación entre el coeficiente de absorción acústica (α) y la frecuencia (Hz), probeta de referencia sin velo. Fuente: elaboración propia

CON VELO de bata quirúrgica

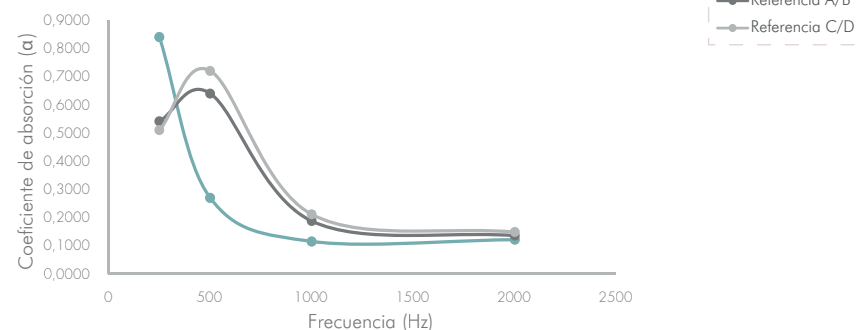


Figura 51. Gráfica B: relación entre el coeficiente de absorción acústica (α) y la frecuencia (Hz), probeta de referencia con velo. Fuente: elaboración propia

Para la representación gráfica, efectuamos la media del coeficiente de absorción acústica para en una de las frecuencias. De este modo, elaboramos las dos primeras gráficas de referencia y observamos cómo se comportan. La gráfica A, representa los resultados obtenidos para las probetas sin residuo alguno, sin velo. En la gráfica B, se muestran las mismas configuraciones con una capa o velo superficial de bata EPI.

A la hora de estudiar los datos de referencia obtenidos, analizaremos cual es el resultado de la frecuencia de resonancia según *Resonador de Helmholtz*:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{LV}},$$

donde,

c es la velocidad del sonido en función de la temperatura, en nuestro caso tomamos 20° (343,2 m/s)

S es la sección de perforación de la probeta (0,00015 m²)

V es el volumen del resonador tras la probeta (0,00027 m³)

L es la longitud de la probeta (0,026 m)

De este modo, con el *Resonador de Helmholtz* deducimos que la frecuencia de resonancia para la probeta de un solo orificio A1/B1, se encuentra en **250,54 Hz**. Así, el máximo para esta configuración queda situado en ese punto, absorbiendo frecuencias bajas.

En la gráfica A, sin velo, se puede observar que para la referencia C1/D1, el coeficiente no será tan alto en frecuencias bajas (250 Hz), sin embargo, tendrá mayor capacidad de absorción en frecuencias medias, entre 250 Hz y 1000 Hz, sobre todo, en la probeta que se le ha colocado velo.

Si mantenemos las curvas de referencia y comparamos los resultados obtenidos en los ensayos en los cuales hemos variado la densidad de residuo, obtenemos el resto de las gráficas:

SIN VELO de bata quirúrgica A1/B1

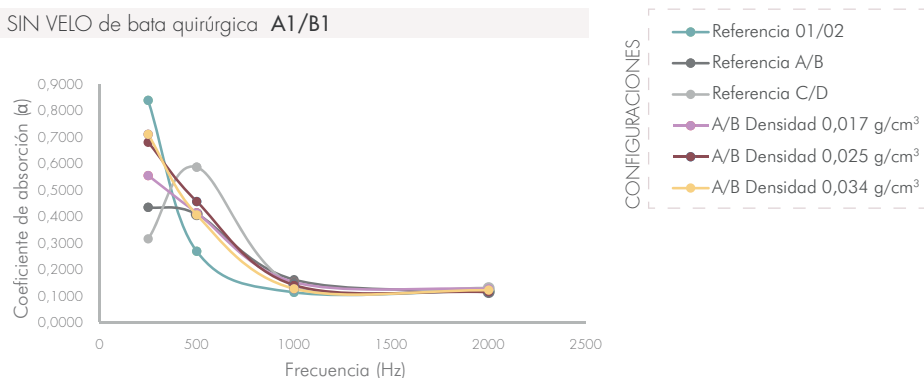


Figura 52. Gráfica C: relación entre el coeficiente de absorción acústica (α) y la frecuencia (Hz), muestras sin velo A1/B1. Fuente: elaboración propia

En los ensayos realizados para las muestras sin velo A1/B1, observamos que, para frecuencias bajas (250 Hz), la capacidad de absorción es mayor que la de las probetas perforadas sin residuos. A medida que vamos aumentando la densidad, aumenta a su vez la absorción en 250 Hz y con ello el máximo. Además, comienza a tener efecto el coeficiente de absorción en frecuencias medias, entre 500 Hz y 1000 Hz, en comparación con las muestras de referencia.

CON VELO de bata quirúrgica A2/B2

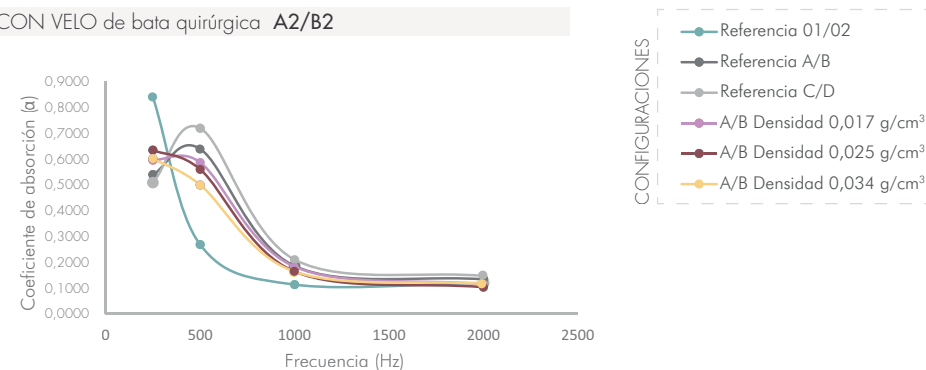


Figura 53. Gráfica D: relación entre el coeficiente de absorción acústica (α) y la frecuencia (Hz), muestras con velo A2/B2. Fuente: elaboración propia

Para la misma configuración que la anterior, A1/B1, pero un velo de residuo añadido en su superficie, observamos que los valores máximos se siguen situando en torno a 250 Hz, sin embargo, estos coeficientes de absorción acústica no serán tan altos como los obtenidos en la gráfica C. Por otro lado, al añadirle el velo, las curvas se desplazan absorbiendo esta vez, una mayor cantidad en frecuencias medias (entre 500 Hz y 1000 Hz).

SIN VELO de bata quirúrgica C1/D1

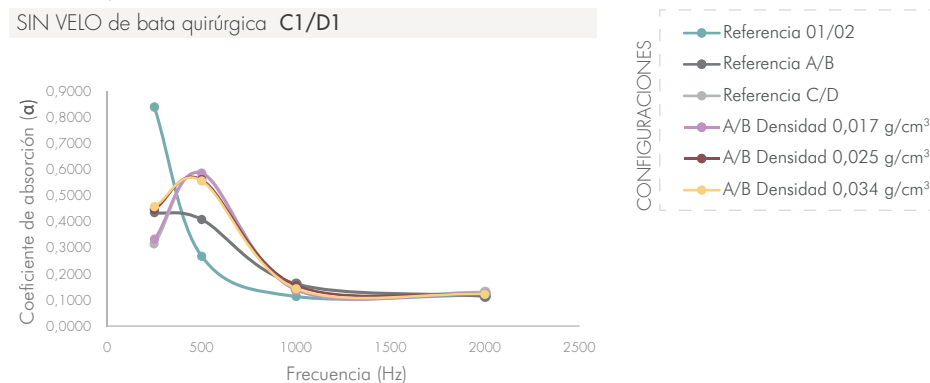


Figura 54. Gráfica E: relación entre el coeficiente de absorción acústica (α) y la frecuencia (Hz), muestras sin velo C1/D1. Fuente: elaboración propia

En la gráfica E, la configuración con la menor densidad ($0,017 \text{ g/cm}^3$) llegará a coincidir con el coeficiente de absorción acústica de la muestra de referencia C1/D1, por lo que podemos concluir que se comportan de manera muy similar al añadir poca cantidad de tiras de residuo. Por otro lado, observamos que las curvas de C1/D1 densidad $0,025 \text{ g/cm}^3$ y la de C1/D1 densidad $0,034 \text{ g/cm}^3$, tienen un recorrido también muy semejante, llegando a superar con poca diferencia, en frecuencias bajas (250 Hz), a la muestra de referencia A1/B1. Las tres configuraciones de C1/D1 sin velo, encontrarán su máximo en 500 Hz.

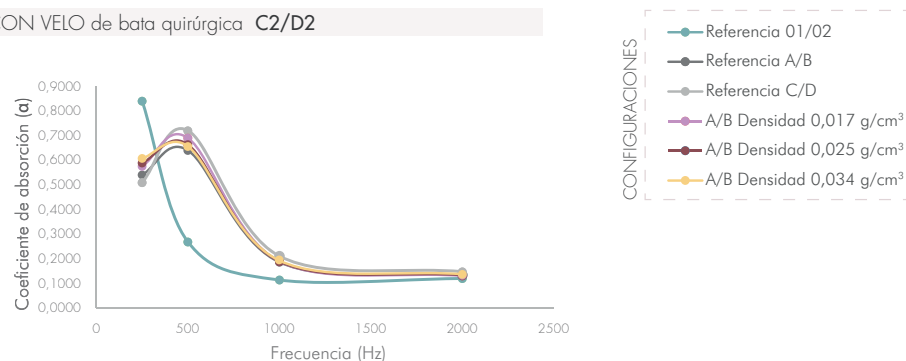


Figura 55. Gráfica F: relación entre el coeficiente de absorción acústica (a) y la frecuencia (Hz), muestras con velo C2/D2. Fuente: elaboración propia

En esta última gráfica, podemos concluir gracias al análisis del resto de resultados, lo que ocurre en la configuración con mayor número de perforaciones, con velo y con la variación de densidades de residuo. Por un lado, no se llegará a alcanzar el coeficiente de absorción acústica tan alto para frecuencias bajas (250 Hz), como lo hace la referencia 01/02. Para todas las configuraciones, el máximo se encontrará en 500 Hz. A medida que aumentamos la densidad, la absorción es mayor para 250 Hz, sin embargo, ocurrirá lo contrario en el máximo (500 Hz): cuando disminuimos la densidad, las muestras absorben una mayor cantidad de frecuencias medias (500 Hz). A continuación, la curva va reduciendo el coeficiente a medida que se aumenta la frecuencia. Para este caso, se debería añadir una mayor cantidad de relleno, para así obtener una densidad mayor y hacer que se diferencien las curvas entre sí. Si aumentamos la densidad, obtendremos un mayor coeficiente para frecuencias bajas y un menor para frecuencias medias, según lo analizado.

Concluimos que, en este caso, no se alcanzará una gran capacidad de absorción de frecuencias bajas como ocurre en el resto de las configuraciones, pero es la muestra capaz de absorber mayores frecuencias medias.

6.4.3 Conclusiones del ensayo

• Perforaciones

En primer lugar, podemos afirmar que la muestra de referencia A1/B1, según el ensayo realizado en Tubo de Kundt y el resultado obtenido del resonador de Helmholtz, sitúa su máximo de absorción acústica en 250,54 Hz para posteriormente reducir su capacidad a medida que aumenta la frecuencia.

La referencia 01/02 tiene buen comportamiento acústico únicamente para frecuencias bajas (250 Hz). Deducimos que, con la perforación de las probetas, según lo estudiado, hará que aumente el coeficiente de absorción acústica en frecuencias medias y altas:

"Paneles perforados separados de la pared a cierta distancia, en las que la cámara puede estar rellena total o parcialmente de un material absorbente acústico. Es una de las opciones más utilizadas en edificación, ya que, si el porcentaje de perforaciones es superior al 12%, el panel es transparente y entonces la absorción es la misma que la del material dispuesto en la cámara", extraído la *Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido* del Código Técnico de la Edificación. [30]

Se ha comprobado que el *Resonador de Helmholtz* no es un método aplicable a la probeta C/D. La causa es que las tres perforaciones no están lo suficientemente separadas tal y como determina el método, por lo que no sería viable obtener la frecuencia de resonancia mediante este procedimiento.

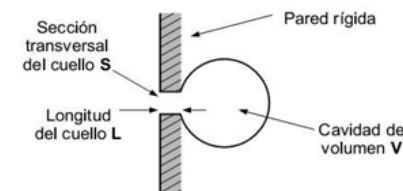


Figura 56. Esquema básico de un resonador simple de cavidad (Helmholtz) montado en una pared Fuente: "Diseño acústico de espacios arquitectónicos". Fuente: Antonio Carrión Isbert. Ediciones UPC.

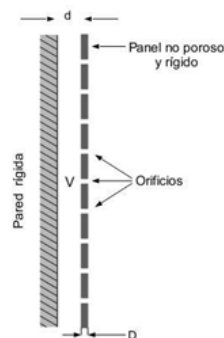


Figura 57. Esquema básico de un resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de paneles perforados o ranurados. Fuente: Antonio Carrión Isbert. Ediciones

Como observamos, si los orificios del panel se encuentran demasiado juntos, la cavidad de volumen se acopla entre una perforación y otra, por lo que, la frecuencia de resonancia f_0 , no nos aporta un dato real en este caso.

• Relleno

Cuando colocamos el velo, la gráfica se desplaza, disminuyendo su coeficiente de absorción en frecuencias bajas (250 Hz) pero siendo capaz de absorber una mayor cantidad de frecuencias medias (500 Hz), donde encuentra su pico máximo. Posteriormente, al igual que ocurre con las probetas sin velo, la curva cae ligeramente siendo incapaz de absorber frecuencias altas.

La variación de densidad nos da comportamientos interesantes en cada ensayo. Por un lado, en las probetas sin velo y con velo, aumenta el coeficiente de absorción en frecuencias bajas a medida que aumenta la densidad de residuos. Sin embargo, cuando la frecuencia es mayor, se producen cruces entre las curvas, de tal modo que, el coeficiente de absorción se vuelve mayor en aquellas configuraciones que contienen una menor cantidad de relleno (densidad más baja). Deducimos entonces, que el aumento de densidad de residuo sólo tiene relevancia en frecuencias bajas.

Como hemos observado en la última gráfica, en las probetas con 3 perforaciones, las curvas llegan a coincidir entre ellas, por lo que sería óptimo variar aún más la cantidad de residuo añadido para así hacer que se diferencien los efectos entre sí.

Una vez comprendido cómo funciona el *Resonador de Helmholtz* y su rendimiento según los parámetros que lo determinan y tal y como se ha comentado anteriormente, veremos cómo se podría mejorar el producto realizando modificaciones en su composición:

	r perforación (m)	S perforación (m ²)	r probeta (m)	S probeta (m ²)	L (m)	h (m)	V (m ³)	f ₀
Probetas A y B	0.00693	0.000150875	0.05	0.007853982	0.026088	0.035	0.0002749	250.53951

Figura 58. Cálculo de la frecuencia de resonancia para la probeta A/B. Fuente: elaboración propia

	r perforación (m)	S perforación (m ²)	r probeta (m)	S probeta (m ²)	L (m)	h (m)	V (m ³)	f ₀
Probetas A y B	0.02	0.001256637	0.05	0.007853982	0.047	0.035	0.0002749	538.69687

Figura 59. Cálculo de la frecuencia de resonancia para la probeta A/B modificada. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, si aumentamos su radio de perforación a 2 cm, la frecuencia de resonancia variaría, llegando a alcanzar incluso, un valor de 538,69 Hz. Esto significa que la misma curva desplaza su máximo hasta ese punto.

	r perforación (m)	S perforación (m ²)	r probeta (m)	S probeta (m ²)	L (m)	h (m)	V (m ³)	f ₀
Probetas A y B	0.00693	0.000150875	0.025	0.001963495	0.026088	0.035	6.872E-05	501.07902

Figura 60. Cálculo de la frecuencia de resonancia para la probeta A/B modificada. Fuente: elaboración propia

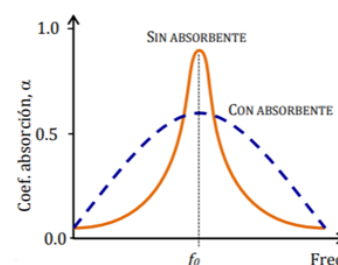


Figura 61. Comportamiento cualitativo frente a la frecuencia del coeficiente de absorción del mismo con y sin absorbente poroso en la cavidad. Fuente: Temario de Acústica arquitectónica, FFIA, ETSAS

Si el radio de perforación es mayor al planteado, la frecuencia de resonancia aumenta. Por lo que, si mantenemos el mismo radio de perforación de 6,93 mm y reducimos el radio de nuestra probeta a la mitad (25 mm) de modo que los orificios en el panel queden más próximos entre sí, volveremos a obtener un valor mayor de frecuencia de resonancia, alcanzando los 501,07 Hz.

Concluimos que, por un lado, el *Resonador de Helmholtz* no sería un método viable para las probetas C/D debido a la cercanía de sus orificios y, por otro que, si modificamos la dimensión de los orificios y de la probeta, la frecuencia de resonancia varía.

• Coeficiente de absorción

Con el coeficiente de absorción acústica resultado en el ensayo de Tubo de Kundt, podemos determinar el *Coeficiente global de absorción sonora ponderado* α_w , que es comparado con un número de curvas de referencia fijas, lo cual nos proporciona una indicación general de la capacidad que tiene el material de absorber acústicamente. Este coeficiente está medido de acuerdo a la *Norma Europea EN ISO 11654* de abril de 1997, [31] según la cual, α_w , se define como: “valor único independiente de la frecuencia, igual al valor de la curva de referencia a 500 HZ después de desplazarla tal y como se especifica en esta Norma Internacional”.

La determinación de α_w nos permitirá comparar las propiedades acústicas de nuestro producto con otros que se comercializan en el ámbito de la construcción. Para ello, utilizaremos el método de la *Norma UNE-EN ISO 11654:1997. Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica*. [31] Esta, suele aplicarse a los productos de construcción en los que se ha establecido el coeficiente de absorción acústica determinado en la *Norma UNE-EN ISO 354:2004. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante*. [32]

Se puede evaluar de esta forma, el grado de absorción de un material dado y con ello, la clase de absorción acústica, indicada en la tabla de la [Figura 62] según el coeficiente de absorción práctico obtenido del gráfico de la misma Norma. [31]

Clases de absorción acústica	
Clase de absorción acústica	α_w
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15
Sin clasificar	0,10; 0,05; 0,00

Figura 62. Clases de absorción acústica. Fuente: UNE-EN ISO (1997)

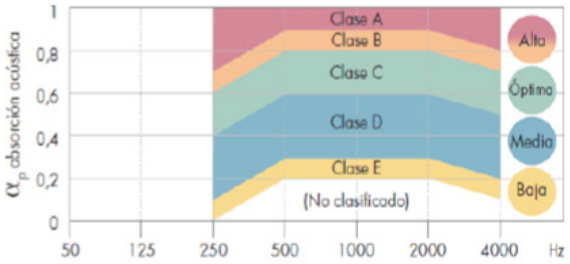


Figura 63. Coeficientes de absorción sonora práctico según las clases. Fuente: UNE-EN ISO (1997)

En primer lugar, selecciono como objeto de estudio la configuración **C2/D2 con velo**, es decir, aquella probeta con tres perforaciones, con una capa de residuo en su superficie y con tres variaciones de densidad de este. Calculamos, a partir del coeficiente de absorción medio obtenido por los ensayos para cada una de las configuraciones, el valor del *Coeficiente de absorción sonora práctico* α_p , para cada variación de relleno tal y como indica la *Norma UNE-EN ISO 11654*. [31] Determinamos así, el valor del coeficiente de absorción en función de la frecuencia (250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz).

α_p	C2/D2 con velo			
	Bandas de octava			
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
d0 = 0 g/cm ³	0,5087	0,7192	0,2101	0,1471
d1 = 0,017 g/cm ³	0,575	0,6896	0,1891	0,1306
d2 = 0,025 g/cm ³	0,5881	0,6626	0,1887	0,1333
d3 = 0,034 g/cm ³	0,6069	0,6554	0,1921	0,137

Figura 64. Coeficiente de absorción sonora medio. Fuente: elaboración propia

α_p	C2/D2 con velo			
	Bandas de octava			
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
d0 = 0 g/cm ³	0,5	0,7	0,2	0,15
d1 = 0,017 g/cm ³	0,55	0,7	0,2	0,15
d2 = 0,025 g/cm ³	0,6	0,65	0,2	0,15
d3 = 0,034 g/cm ³	0,6	0,65	0,2	0,15

Figura 65. Coeficiente de absorción sonora práctico. Fuente: elaboración propia

Procedemos a obtener el valor del *Coeficiente global de absorción sonora ponderado* " α_w ", que es igual al valor de la curva de referencia en 500 Hz después de desplazarla por pasos de 0,05 hacia el valor medio hasta el momento en el cual la suma de las desviaciones desfavorables sea menor o igual que 0,10. [31]. Si realizamos este procedimiento en una de nuestras configuraciones, por ejemplo, en la muestra C2/D2 densidad 0,025 g/cm³, obtenemos el siguiente resultado:

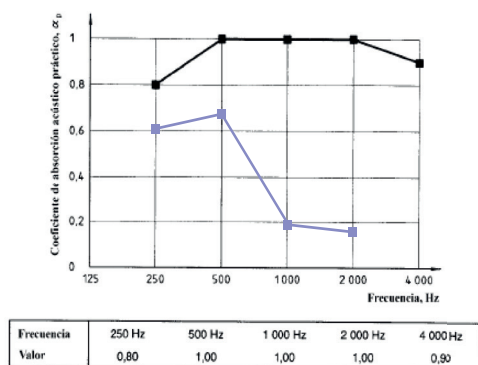


Figura 66. Curva de referencia para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado según UNE-EN ISO 11654:1997 aplicando C2/D2 0,025 g/cm³. Fuente: elaboración propia

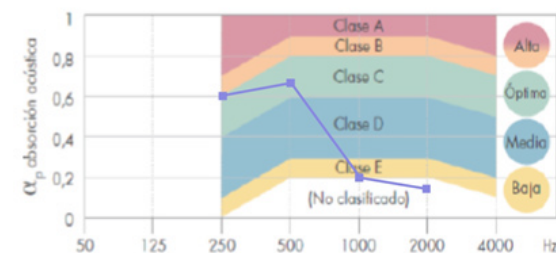


Figura 67. Coeficientes de absorción sonora práctico C2/D2 0,025 g/cm³, según las clases UNE-EN ISO (1997). Fuente: elaboración propia

Aplicando nuestro *Coeficiente de absorción sonora práctico* α_p a la gráfica dada por la Norma, [31] concluimos que, con la curva resultante de nuestra configuración con picos de resonancia (en violeta), no podemos obtener el *Coeficiente global de absorción sonora ponderado* α_w , ya que la gráfica de referencia debería bajar una gran cantidad, reduciéndose de este modo el coeficiente de absorción.

Como conclusión podemos afirmar que el método dado por la "Norma UNE-EN ISO 11654:1997. Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica" [31] y a través de la cual se obtiene el α_w , no es un método que nos interese a la hora de aplicar nuestro producto y comparar con otros que actualmente se comercializan. Utilizaremos, por tanto, el *Coeficiente de absorción medio* α_m , tal y como determina el Código Técnico de la Edificación, cuando no se puede disponer del α_w . [33]

Por tanto, el *Coeficiente de absorción medio* α_m para la configuración C2/D2 densidad 0,025 g/cm³, resultaría de la media de los coeficientes de absorción obtenidos para cada una de las frecuencias dadas (250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz), siendo α_m igual a 0,4 Hz.

Teniendo en cuenta todas las conclusiones que hemos extraído del análisis de datos, el *Coeficiente de absorción medio* de 0,4 Hz y considerando que nuestro material es buen absorbente para frecuencias bajas y medias, trataremos de darle una aplicación en el sector de la construcción.

7. DISEÑO Y PROPUESTA DEL PRODUCTO

Como conclusión a este trabajo de investigación, definiremos constructivamente el compuesto estudiado; introducir una economía circular en este sector puede ser algo realmente interesante para minimizar los efectos negativos sobre el medio ambiente.

El compuesto finalmente elegido, tras las conclusiones derivadas de los ensayos, será la **muestra C2/D2 con capa superficial** de residuo de bata EPI en su cara posterior y con la densidad 2, es decir, **0,025 g/cm³** del residuo de mono EPI agregado en tiras.

Primeramente la disposición de tres perforaciones en la probeta de yeso puede ser semejante a cualquier producto de panel acústico que encontramos en la realidad. Además, con esta configuración y el residuo elegido, el resultado es un buen absorbente de frecuencias bajas y medias. El compuesto mejorará las condiciones acústicas si se aplica en productos destinados a la construcción de nueva planta o en proyectos de rehabilitación.

La elección de la densidad media, es de un 75% de relleno de tiras recicladas de trajes de protección (recordemos que el material que lo conforma es el polipropileno y el polietileno). Este resultado se ha dado en el ensayo acústico. Como hemos observado anteriormente, mientras más relleno de residuo se coloca en la cámara, mayor es la absorción en frecuencias bajas y menor para frecuencias medias. A menor residuo añadido, ocurriría justo lo contrario. Por esta razón, en la propuesta del producto, se ha decantado por la densidad media entre las dos configuraciones. De esta manera, se conseguirá una **buena absorción a frecuencias bajas y medias-altas**.

En cuanto a la aplicación que tendrá este producto, se ha considerado la realización de falsos techos continuos y trasdosados autoportantes acústicos que puedan incorporarse en la rehabilitación de edificios. De este modo, el falso techo estará compuesto por paneles de yeso de dimensiones idénticas a aquellos que actualmente se comercializan (60 x 60 cm), la unión entre ellos hará que el resultado final sea un falso techo continuo acústico. Por otro lado, la dimensión de los paneles para trasdosados será de 150 x 50 cm. Estas medidas las justificaremos en la aplicación a un caso práctico.

En cuanto a la aplicación que tendrá este producto, se ha considerado la realización de falsos techos continuos y trasdosados autoportantes acústicos que puedan incorporarse en la rehabilitación de edificios. De este modo, el falso techo estará compuesto por paneles de yeso de dimensiones idénticas a aquellos que actualmente se comercializan (60 x 60 cm), la unión entre ellos hará que el resultado final sea un falso techo continuo acústico. Por otro lado, la dimensión de los paneles para trasdosados será de 150 x 50 cm. Estas medidas las justificaremos en la aplicación a un caso práctico.

Ambos productos están perforados y dispondrán de un velo en la cara no vista, además de, una cámara con relleno del residuo estudiado. La cámara en la cual se introducen las tiras contará con un volumen proporcional a la cámara del portamuestras del Tubo de Kundt, para que, de este modo, el ensayo sea lo más parecido posible a la realidad de la aplicación. El relleno quedará sujeto y acotado por una subestructura de cartón reciclado en forma de panel de nido de abeja, que contará con el grosor de la cámara estudiada, es decir, 3,5 cm. De este modo, nos aseguraremos de que el relleno queda estático, tanto cuando se coloque de forma horizontal, como cuando se disponga en vertical. Además, se dejará una cámara de aire entre el paramento existente y nuestro trasdosado, de esta forma, se mejorarán las condiciones acústicas y energéticas.

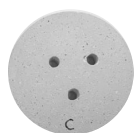
Reflexionando sobre estas dos aplicaciones, comprobamos que actualmente en España, para colocar techos y trasdosados acústicos, se utiliza un panel de cartón-yeso, un relleno aislante de lana de roca y una perfilería o subestructura para el soporte de esta. El proceso de fabricación de estos elementos, tienen al fin y al cabo un fuerte impacto medioambiental.

La materia prima que se consume por parte del sector de la construcción tiene como consecuencia el aumento en la generación de residuos y el consumo energético para la fabricación de materiales destinados a tal fin, la industria de la construcción genera el 35% de residuos industriales en el mundo. [34]

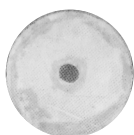
Podríamos decir, que el producto propuesto, constituido por materiales reciclados, es un material ecoeficiente, cuyo fin será:

- Mejorar las condiciones acústicas en espacios arquitectónicos.
- Reducir el impacto medioambiental en la producción de materiales aislantes como la lana de roca.
- Disminuir la cantidad de residuos generados de trajes de protección sanitario utilizados durante la situación de emergencia originada por la COVID-19.
- Conseguir un menor coste económico gracias al producto propuesto.

Centrándonos en la composición de nuestro falso techo y trasdosado acústico eco-eficiente, distinguimos los siguientes elementos:



Placa de yeso 100% de 10,5 mm de espesor, conformada por la relación de 0,55 gramos de agua por cada gramo de yeso. La placa se encontrará perforada por tres agujeros cuya área total será de 150,3 mm², resultando esta perforación un 2%. Para la aplicación, el panel contará con unas dimensiones estándares.



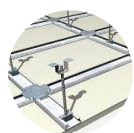
Velo de bata quirúrgica reutilizada, compuesta por tela no tejida 100% Polipropileno. Se colocará en la cara no vista de la placa de yeso, quedando por el interior de nuestra composición.



Relleno de tiras entrelazadas de traje de protección EPI reutilizado, fabricado en tela no tejida tipo *Spunbond* 25 g/m² 100% Polipropileno + 20 g/m² de película impermeable de Polietileno. La densidad tipo 2 del relleno es de 0,025 g/cm³.



Subestructura de sujeción del relleno, conformado por 100% de cartón reciclado en forma de nido de abeja. Su espesor será de 35 mm, obteniendo una cámara en la cual se introduce el residuo con la misma dimensión que la empleada en el ensayo acústico. En su interior, quedará aire comprimido, el cual implica una mejora del aislamiento acústico. Además, nos permitirá que el trasdosado sea autoportante y su colocación sea fácil y eficaz, haciendo que no se alteren las propiedades acústicas del relleno.



Sistema estructural de entramado ligero de madera reciclada como soporte y anclaje de nuestro producto a los elementos estructurales del edificio.

Sistema de estructura metálica galvanizada para la suspensión de falso techo acústico continuo.

Recordemos que la probeta con la cual hemos realizado el ensayo tenía forma circular, por lo cual, a la hora de ejecutar nuestra solución constructiva, debemos determinar la relación del área entre la probeta circular y la probeta cuadrada. Así, si para la muestra C2/D2 se le ha colocado 7,10 g de relleno, para la probeta cuadrada la cantidad debe ser la misma.

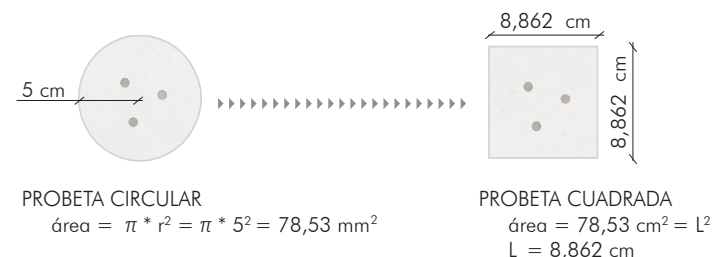


Figura 68. Relación de áreas entre la probeta circular y la probeta cuadrada.
 Fuente: elaboración propia

Analizaremos el material de soporte del relleno de las tiras entrelazadas determinando la cantidad que hay que introducir en cada una de las cámaras; el panel de cartón de nido de abeja que utilizaremos es el de la casa *Nidokraft*, [35] con un espesor de 35 mm, al igual que el espacio resultante del porta muestras del ensayo, y el volumen de la celda hexagonal es 8,80 cm³. Considerando esto, nos aproximamos a la cantidad exacta de tiras de mono EPI contenida en cada una de las celdas. Teniendo en cuenta, que en el ensayo de Tubo de Kundt, introducimos 7,10 gramos de residuo en el portamuestras, quedando una densidad total de 0,025 g/cm³, debemos reproducir exactamente esa cantidad en el diseño del producto acústico, resultando una cantidad de 0,22 g de relleno a introducir en el interior de cada celda.

Concluimos por tanto, que para un panel tipo de falso techo de 60 x 60 cm, se necesitarán un total de 49 probetas cuadradas y para un panel tipo de trasdosado de 120 x 50 cm, 93,5.

La superficie que deberá ocupar el velo de bata reutilizada para cada probeta será de 0,0078 m², un total de 0,36 m² para el panel de falso techo y 0,75 m² para el panel de trasdosado.

Los 7,10 gramos de relleno de tiras entrelazadas de mono reutilizado, sumará un total de 325,46 gramos para un solo panel de falso techo y 663,85 gramos para uno de trasdosado.

La retícula de cartón que soporta el relleno tendrá la misma dimensión que el panel de yeso, 0,36 m² y 0,75 m² en cada uno de los casos.

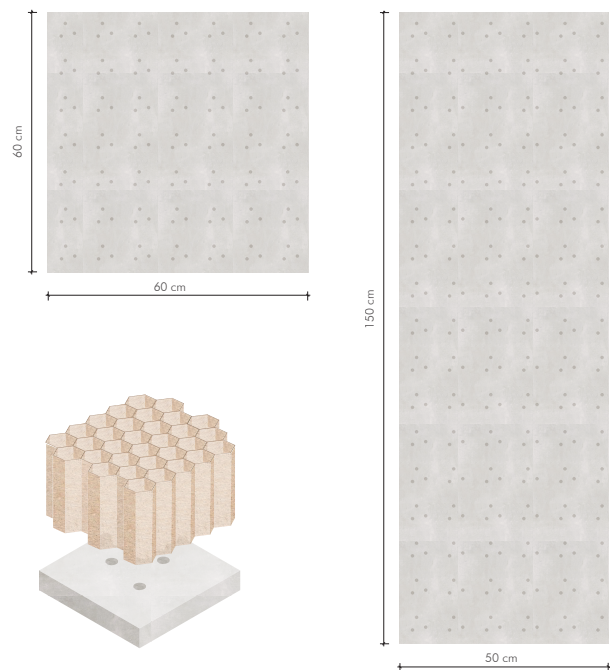


Figura 69. Vista frontal del panel tipo de falso techo acústico y del panel tipo de trasdosado acústico. Fuente: elaboración propia

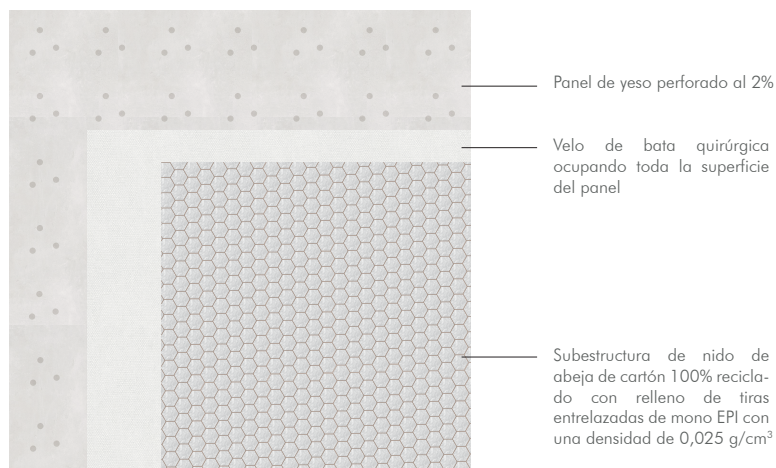


Figura 70. Componentes de un panel tipo. Fuente: elaboración propia

A continuación, se adjunta una serie de detalles constructivos para entender el resultado del producto constructivo aplicado en trasdosados y falsos techos acústicos cuyo fin será una solución acústica.

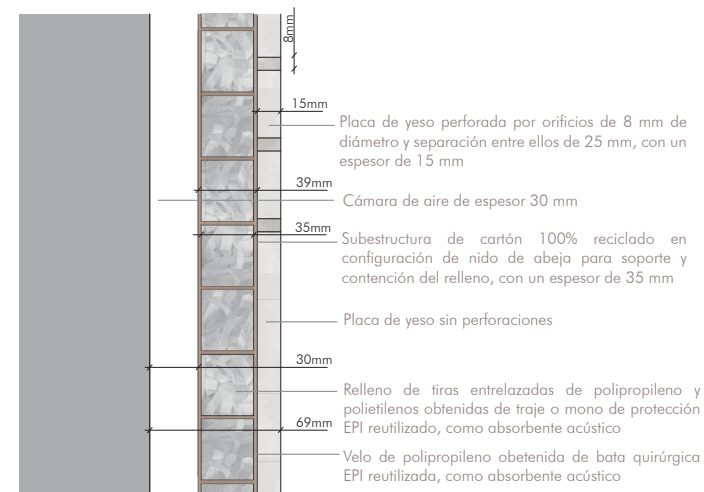


Figura 71. Detalle constructivo tipo del trasdosado propuesto, encuentro entre el panel de yeso con y sin perforaciones. Fuente: elaboración propia

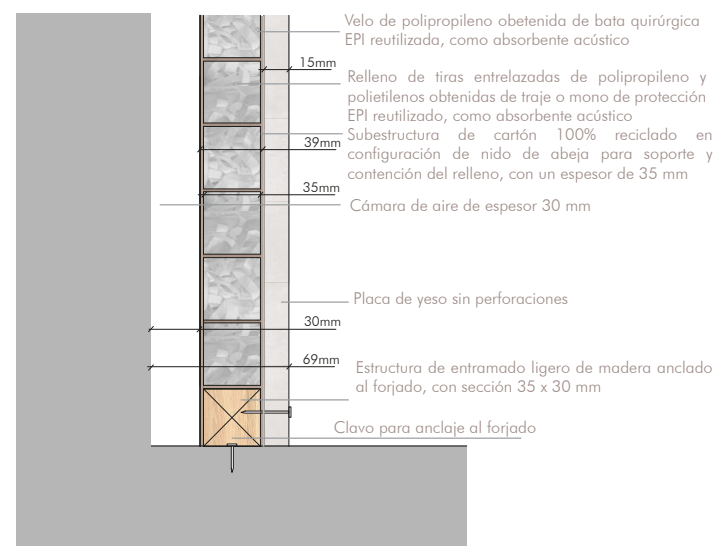


Figura 72. Detalle constructivo del encuentro entre el trasdosado sin perforaciones y el forjado por la cara superior. Fuente: elaboración propia

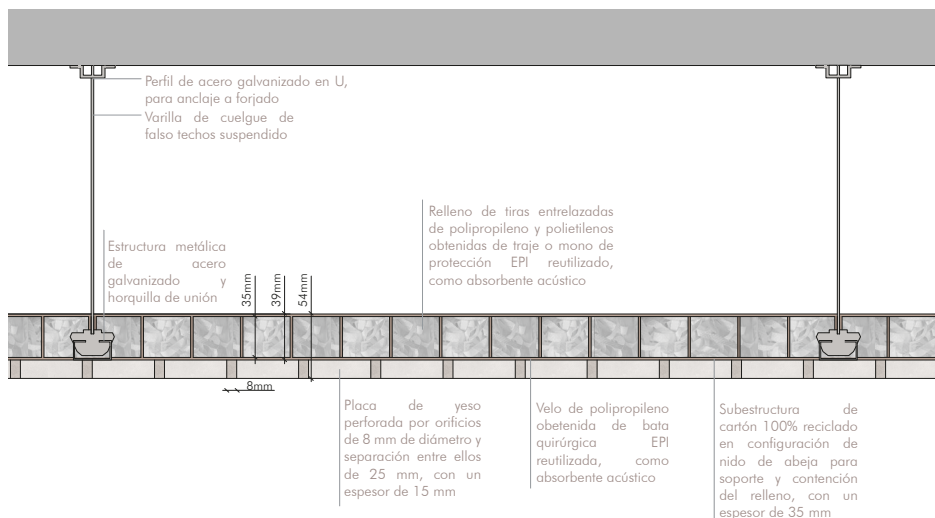


Figura 73. Detalle constructivo tipo del falso techo propuesto. Fuente: elaboración propia

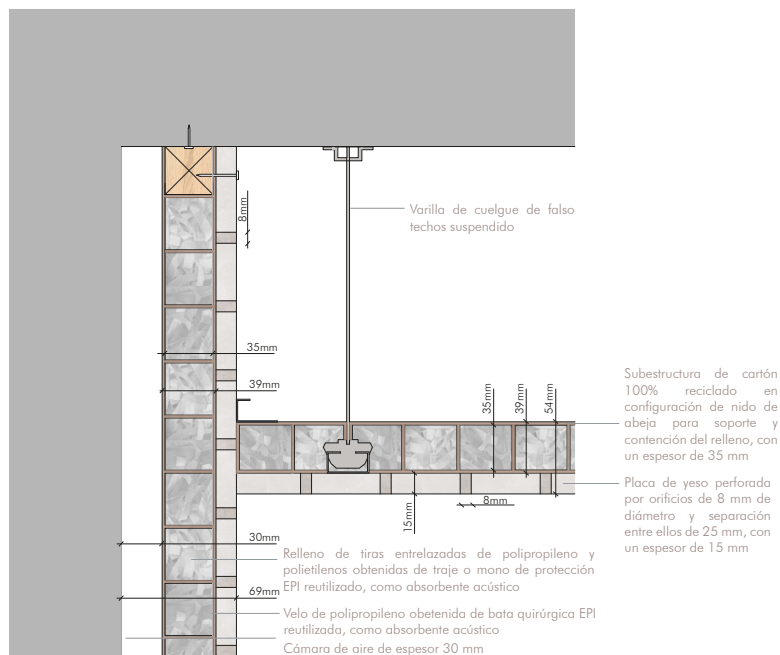


Figura 74. Detalle constructivo del encuentro entre el trasdosado y el falso techo propuesto. Fuente: elaboración propia

La definición de ambos productos propuestos debe cumplir una serie de normativa que regula su proceso de fabricación con el fin de que sean óptimos a la hora de aplicarlos en la construcción. Además, tendrán que someterse a controles y ensayos para verificar si la propuesta es realmente válida en condiciones de confort y absorción acústica. Dentro de estas normas de regulación, se encuentran:

UNE-EN 520:2005/A1:2010_ Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. [36]

UNE EN 13279 2005_ Yeso de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. [37]

UNE-EN 13963 2006_ Material de juntas para placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. [38]

UNE-EN 102043_ Montaje de los sistemas constructivos con placa de yeso. Tabiques, techos y trasdosados. Definiciones, especificaciones y recomendaciones. [39]

UNE-EN 13950:2014_ Placa de yeso con aislamiento térmico/acústico. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. [40]

UNE EN ISO 12354_ Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. [41]

CTE DB HR_ Protección frente al ruido. [33]

CTE- DB HE_ Ahorro de energía. [42]

CTE- DB HS_ Salubridad. [43]

CTE- DB SI_ Seguridad en caso de incendio. [44]

8. APLICACIÓN A UN CASO PRÁCTICO

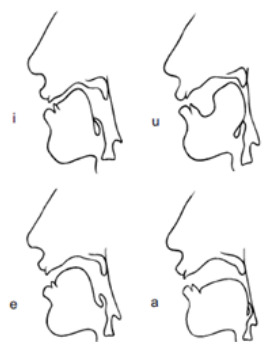


Figura 75. Configuración del tracto vocal durante la fonación de las distintas vocales. Fuente: Revista de Medicina de la Universidad de Navarra.

Tras haber definido constructivamente el producto ecoeficiente que constituye el trasdosado autoportante y el falso techo continuo acústico, procederemos a aplicar la solución propuesta en un espacio arquitectónico.

Con las conclusiones extraídas, tanto del ensayo como del análisis de datos, aplicaremos nuestro producto a un proyecto de rehabilitación de un colegio existente.

La elección de un colegio como espacio de aplicación ha venido dada, entre otros aspectos, por la necesidad de absorción acústica en este lugar. La voz de profesores y niños hablando a la vez, puede generar molestia y malestar debido al exceso de ruido. Los niños cambiando de aula, saliendo al recreo o la entrada y salida del colegio, son algunos de los momentos del día en los que se puede ocasionar un mayor nivel de ruido.

Es necesario, por otro lado, investigar qué necesidad de absorción acústica tiene un espacio como este, teniendo en cuenta los sonidos que se generan en él.

Según un artículo publicado por la Revista de Medicina de la Universidad de Navarra [45], extraemos la relación de hercios con la voz de los niños en diferentes edades: *"Entre los cuatro y los seis años la extensión es inferior a una octava. La frecuencia fundamental a los siete años desciende, situándose alrededor de los 250-280 Hz. A los siete años la frecuencia fundamental, es de 295 Hz para las niñas y 268 para los niños, estableciéndose así ya una diferencia entre la voz de la niña y la del niño. Hacia los ocho años, la voz cantada se extiende a dos octavas aproximadamente."* Molina Hurtado, MT., S Fernández González, S., 2006).

Según Emma Rodero Antón, [46] en *"El tono de la voz masculina y femenina en los informativos radiofónicos: un análisis comparativo."* para la Universidad Pontificia de Salamanca: *"podemos acotar la frecuencia de la voz masculina entre 100 y 200 hercios y la femenina entre 150 y 350 hercios"*. (Rodero Antón, E., 2001)

Concluimos de esta manera, que nuestro campo de trabajo está acotado, pues, entre profesores y niños, **la frecuencia varía entre los 100 Hz y los 350 Hz**. La voz humana se emite a frecuencias bajas y medias-bajas, por lo que nuestro material debe funcionar acústicamente en esa franja.

Recordemos que la muestra **C2/D2 densidad 0,025 g/cm³, conseguía su mayor rendimiento de absorción acústica en frecuencias medias y bajas**. A medida que aumentaban los hercios, el coeficiente de absorción del producto disminuía rápidamente. Por lo cual, con el resultado de nuestro ensayo acústico y con la investigación sobre los ruidos generados por la voz de niños y adultos, partiremos de la hipótesis de que los nuevos productos de construcción mejorarán las condiciones acústicas de este espacio en el cual suele haber excesos de ruidos, sobre todo en zonas comunes.

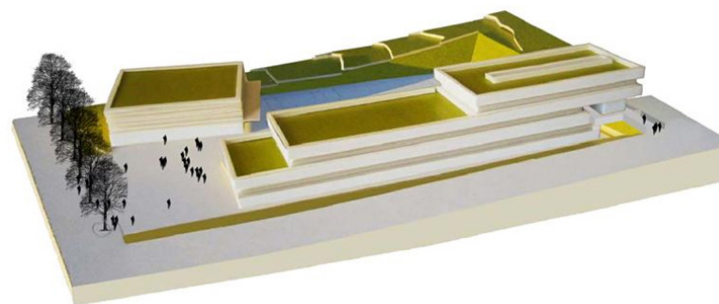


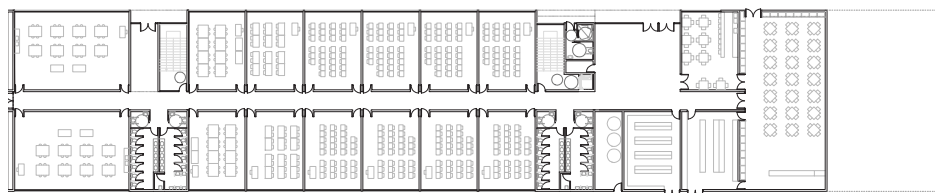
Figura 76. Volumetría del colegio a rehabilitar. Fuente: elaboración propia

El colegio al cual aplicaremos nuestro trasdosado ecoeficiente se ubica en Almería. Cuenta con planta baja más dos y una superficie construida total de 4443,58 m².

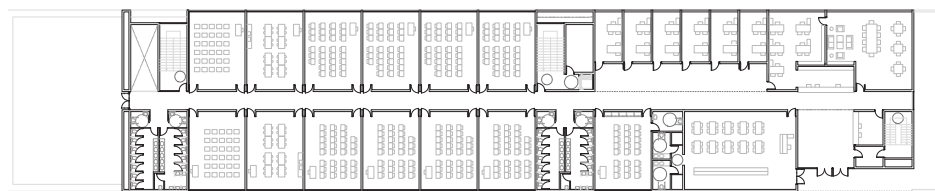
El edificio consta de un volumen longitudinal alineado a la calle. Los accesos al mismo serán los que organicen el programa de aulas, zonas comunes y el resto de dependencias administrativas, que se disponen ocupando tres bandejas en altura y generando terrazas en cada una de las plantas.

Las dimensiones de las aulas serán las que determinen la retícula ortogonal que da lugar a los diferentes espacios, resultando, como se observa en la planimetría, dos pastillas enfrentadas de clases con un pasillo que dan acceso a ambas. Este mismo sistema será el que se repita en cada planta. La segunda, además, contiene un pasillo que rodea a las aulas.

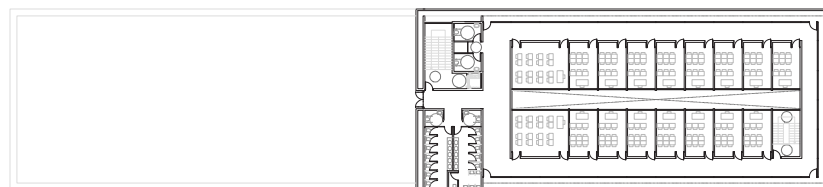
A continuación, se adjunta la planimetría del edificio:



PLANTA BAJA



PLANTA PRIMERA



PLANTA SEGUNDA

8.1 Exigencias técnicas del producto: cumplimiento del CTE DB HR

Los nuevos productos de construcción, como se ha mencionado anteriormente, deberán cumplir unos requisitos técnicos. El Código Técnico de la Edificación incluye un Documento Básico de Protección frente al ruido (CTE DB HR). En él, se indican las exigencias referidas al acondicionamiento acústico. [30]

En el caso de estudio del colegio, se deberá verificar si cumple la limitación del ruido reverberante en los distintos espacios. Se comprobará si es válida la absorción acústica de las zonas comunes, y el tiempo máximo de reverberación de las aulas cuyo volumen sea inferior o igual a 350 m³. En nuestro caso, se deberá comprobar el primer requisito en los pasillos y el segundo en cada una de las aulas ya que ninguna de ellas supera el volumen máximo.

En primer lugar, procederemos a comprobar esta exigencia en el estado actual del colegio, sin ningún tipo de rehabilitación acústica para, posteriormente, comparar la respuesta que tiene nuestro producto.



Figura 77. DB HR Protección frente al ruido. Acondicionamiento acústico. Fuente: elaboración propia



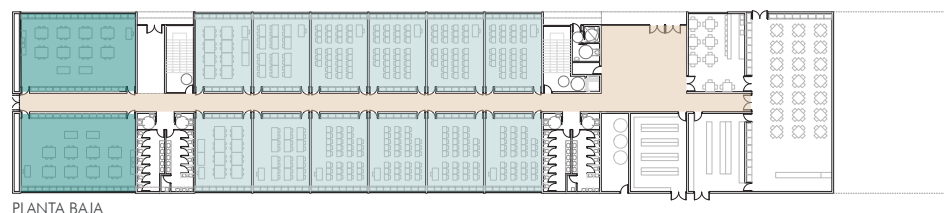
Figura 78. Procedimiento de aplicación del DB HR para acondicionamiento acústico. Fuente: elaboración propia

• Estado actual

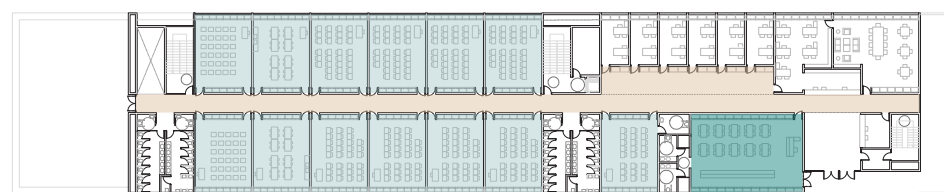
Para deducir dichas verificaciones, se debe consultar el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. [47] De este modo, conoceremos los coeficientes medios de absorción acústica de cada uno de los elementos que componen el acabado de los recintos. En el caso del colegio estudiado, tanto en pasillo como en las aulas encontramos los mismos acabados:

- La solería es de terrazo. Su coeficiente $\alpha_m = 0,02$
- Las ventanas de vidrio tendrán un coeficiente $\alpha_m = 0,04$
- Las puertas de tablero contrachapado con un coeficiente $\alpha_m = 0,08$
- Las particiones, cuyo trasdosado no está perforado y su acabado es enlucido de yeso, cuentan con un coeficiente α_m de 0,01.

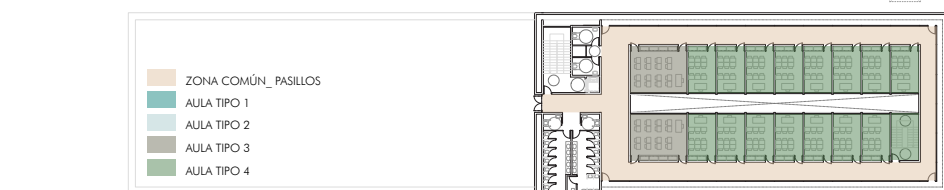
En la planimetría adjunta, se indican los diferentes espacios en los cuales comprobaremos la normativa:



PLANTA BAJA



PLANTA PRIMERA



PLANTA SEGUNDA

Para los **pasillos**, zona común del colegio, se deberá comprobar la absorción acústica del recinto. Para ello, se verifica que la absorción acústica de los materiales que lo componen es mayor o igual a la absorción requerida por el CTE. [53] De este modo, la **absorción acústica**, A , se calcula:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{o,m,j} + 4 \cdot \overline{\alpha_m} \cdot V$$

Donde:

$\alpha_{m,i}$ coeficiente de absorción acústica medio de cada paramento, para las bandas de tercio de octava centradas en las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz;

S_i área de paramento cuyo coeficiente de absorción es $\alpha_{m,i}$, [m²];

$A_{o,m,j}$ área de absorción acústica equivalente media de cada mueble fijo absorbente diferente [m²];

V volumen del recinto, [m³].

$\overline{\alpha_m}$ coeficiente de absorción acústica medio en el aire, para las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz y de valor 0,006 m⁻¹.

Para proceder, primero se debe determinar las áreas a analizar y agruparlas por tipos. En el caso de la escuela, se realizará la verificación en cada uno de los pasillos del edificio, puesto que tienen dimensiones diferentes, comenzando por el de planta baja, siguiendo por el de planta primera y acabando por el de la última planta. A continuación, se medirá el área total de cada uno de los elementos que componen dichos recintos y se multiplicará por su coeficiente medio α_m .

En todo el procedimiento, se ha considerado, tanto las zonas comunes, como las aulas, libres de mobiliario. La posición de los objetos en el recinto es un dato que favorece la absorción acústica, ya que, en mayor o menor cantidad, son también absorbentes. Por lo cual, partimos de la solución más desfavorable, pues la A del recinto será superior en condiciones reales a la calculada. Por último, se comprobará que A del recinto > A requerida CTE.

En el interior de las **aulas**, se deberá comprobar si cumple la limitación del ruido reverberante.

El **ruido reverberante** T , depende:

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{A} \quad [s]$$

Donde:

V volumen del recinto, [m³].

A absorción acústica total del recinto, [m²]

De este modo, debemos calcular el valor A, absorción acústica total del aula, para posteriormente determinar T, el tiempo de reverberación. Tal y como exige el CTE, en las aulas vacías, $T \leq 0,7$ s.

En el colegio, contaremos con 4 tipos de aulas, agrupadas por tipo y superficie: la primera de 107,72 m², la segunda de 53,54 m², la tercera de 32,37 m² y la cuarta de 15,20 m².

Se comprobará, para cada tipo, que se cumple con lo establecido en el DB HR. Los materiales que constituyen el acabado del interior de las aulas son los mismos que se han especificado para los pasillos. Por tanto, los coeficientes de absorción acústica medio también serán idénticos. Lo que variará será el área de absorción acústica de cada material, elemental para saber si el recinto cumple los requisitos.

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla cuyo cálculo desarrollado se incluye en el Anexo:

CUMPLIMIENTO CTE DB HR	sin rehabilitación acústica	
ZONA COMÚN_ pasillo	Absorción acústica recinto	Absorción acústica exigida
PLANTA BAJA, V (m³)= 695,1	36,08	139,02
PLANTA PRIMERA, V (m³)= 693	48,55	138,6
PLANTA PRIMERA, V (m³)= 1882,05	78,57	376,41
	A recinto < A requerida NO CUMPLE	

Figura 79. Procedimiento de aplicación del DB HR en los pasillos, sin rehabilitación acústica.
Fuente: elaboración propia

CUMPLIMIENTO CTE DB HR	sin rehabilitación acústica		
AULAS	Absorción acústica del recinto	Tiempo de reverberación recinto	Tiempo de reverberación exigido
AULA TIPO 1, V (m³)= 323,16	13,04	3,96 s	<0,7 s
AULA TIPO 2, V (m³)= 160,62	6,94	3,7 s	<0,7 s
AULA TIPO 3, V (m³)= 97,11	4,57	3,66 s	<0,7 s
AULA TIPO 4, V (m³)= 45,60	3	2,43 s	<0,7 s
		T recinto > 0,7 s NO CUMPLE	

Figura 80. Procedimiento de aplicación del DB HR en las aulas, sin rehabilitación acústica.
Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos en el cálculo han sido desfavorables. El pasillo, como zona común, no cumple con la absorción acústica requerida por la normativa. Por otro lado, ninguna de las aulas posee un tiempo de reverberación menor a 0,7 segundos. Se puede concluir que la actual composición arquitectónica de los pasillos y clases en cuanto a acabados y absorción acústica no cumple con la exigencia de la normativa.



• Propuesta ecoeficiente

Tras los resultados obtenidos y observando que los recintos actualmente no cumplen con el CTE DB HR, procedemos a comprobar si nuestra solución ecoeficiente en paredes y techos es válida técnicamente. En cuanto a la aplicación de ambos productos:

- Se colocará, en todas las aulas y pasillos, el **falso techo continuo acústico** propuesto. Esto permitirá una mejora de la absorción acústica evitando el paso del exceso de ruido de una planta a otra del edificio y mejorando el confort.
 - El **trasdosado** propuesto, se dispondrá en todas las aulas y pasillos a partir de una altura de 1,5 m. Esto permitirá que los niños no logren tocar el panel de yeso perforado. Desde la cota del suelo hasta el comienzo del panel perforado, se colocará una placa de yeso sin orificios con el fin de que el paramento tenga continuidad.
- A pesar de la distinción entre el panel perforado y el que no lo está, el entramado de madera, la subestructura de nido de abeja, el velo de bata quirúrgica y el relleno de tiras entrelazadas se colocará en todos los paramentos verticales dejando una cámara de aire de 30mm. Esto permitirá que el residuo quede contenido en toda la envolvente del aula o pasillo.
- Se parte de la hipótesis de que, aunque no se haya comprobado mediante ensayo, la continuación del panel de yeso sin perforar desde la solería hasta la cota +1,50 m, hará que el espacio adquiera un determinado aislamiento acústico y térmico, mejorando, además de la absorción acústica planteada en este trabajo, la calidad energética.
- Por otro lado:
 - Las particiones, con la colocación del trasdosado acústico propuesto, tiene un coeficiente $\alpha_m = 0,4$
 - Los falsos techos acústicos propuestos, cuentan con un coeficiente, al igual que el trasdosado, $\alpha_m = 0,4$

A pesar del valor de estos coeficientes de absorción acústica, se recuerda que con la colocación de la cámara de aire tras todos los paramentos verticales, se parte de la hipótesis de que mejorará acústicamente los espacios, por lo cual el coeficiente de absorción acústica medio es probable que sea un poco mayor. Al no conocer la estimación de dicho valor, no se ha tenido en cuenta a la hora de la verificación.

CUMPLIMIENTO CTE DB HR	con propuesta ecoeficiente	
ZONA COMÚN_ pasillo	Absorción acústica recinto	Absorción acústica exigida
PLANTA BAJA, V (m³) = 695,1	199,8	> 139,02
PLANTA PRIMERA, V (m³) = 693	200,28	> 138,60
PLANTA PRIMERA, V (m³) = 1882,05	418,88	> 376,41
	A recinto > A requerida CUMPLE	

Figura 81. Procedimiento de aplicación del DB HR en los pasillos, utilizando el producto ecoeficiente.
Fuente: elaboración propia

Observamos que las zonas comunes cumplen con lo recogido en el CTE DB HR. En los tres pasillos, la absorción acústica de los acabados es mayor que la requerida por la Norma.

CUMPLIMIENTO CTE DB HR	con propuesta ecoeficiente		
AULAS	Absorción acústica del recinto	Tiempo de reverberación recinto	Tiempo de reverberación exigido
AULA TIPO 1, V (m³) = 323,16	77,27	0,43 s	< 0,7 s
AULA TIPO 2, V (m³) = 160,62	68,36	0,37 s	< 0,7 s
AULA TIPO 3, V (m³) = 97,11	45,85	0,33 s	< 0,7 s
AULA TIPO 4, V (m³) = 45,60	28,29	0,25 s	< 0,7 s
		T recinto < 0,7 s CUMPLE	

Figura 82. Procedimiento de aplicación del DB HR en las aulas, utilizando el producto ecoeficiente.
Fuente: elaboración propia

Cada tipo de aula cumple los requerimientos mínimos establecidos por el DB HR en cuanto a la absorción acústica y al tiempo mínimo de reverberación. Podemos determinar con estas comprobaciones que nuestro material es adecuado constructivamente, ya que cumple las exigencias técnicas. [53]

En cuanto a la cuantificación de residuo utilizado en el colegio, primero calcularemos la superficie total en la cual se ha intervenido:

- En las zonas comunes, la superficie total en la cual el nuevo producto ha sido colocado, entre trasdosados y falso techo, resulta de 1712,34 m².
- La superficie total del producto ecoeficiente colocado en las aulas del edificio, entre trasdosados y falso techo, resulta de 360,96 m².
- El área total, por tanto, es de 2073,3 m².

Si tenemos en cuenta que el velo de bata quirúrgica reutilizada se coloca en toda la superficie del paramento, habremos utilizado 2073,3 m² de tal residuo. Si una bata mide aproximadamente 2,7 m², se utilizarán **768 batas**.

En el caso del relleno, que se coloca una cantidad de 0,0071 kg cada 0,007853 m², sumaremos una cantidad total de tiras de mono de protección reutilizado de 1865,97 kg en todo el edificio. Teniendo en cuenta que un mono EPI pesa, aproximadamente, 0,069 kg/m², utilizaremos en total **27043 monos** en todo el edificio.

• Aplicación alternativa de un producto convencional

Realizamos la misma comprobación con una solución alternativa aplicando un producto convencional similar a nuestra propuesta constructiva con el objetivo de realizar la misma rehabilitación acústica.

Utilizaremos una solución acústica de la casa *Knauf*, exactamente, el modelo *Placas Cleaneo® Akustik* [48] de 12,5 mm con velo acústico y lana mineral. El panel tiene una perforación redonda con orificios de 8 mm cada 18 mm.

La casa comercial *Knauf* realiza el trasdosado autoportante a través de una perfilera metálica galvanizada atornillada al forjado superior e inferior y en cuyo interior se introduce la lana mineral con un espesor de 100 mm. Para el falso techo, la configuración del panel es la misma colocada en horizontal y suspendida del forjado por una estructura metálica en dos direcciones a la cual se atornilla.

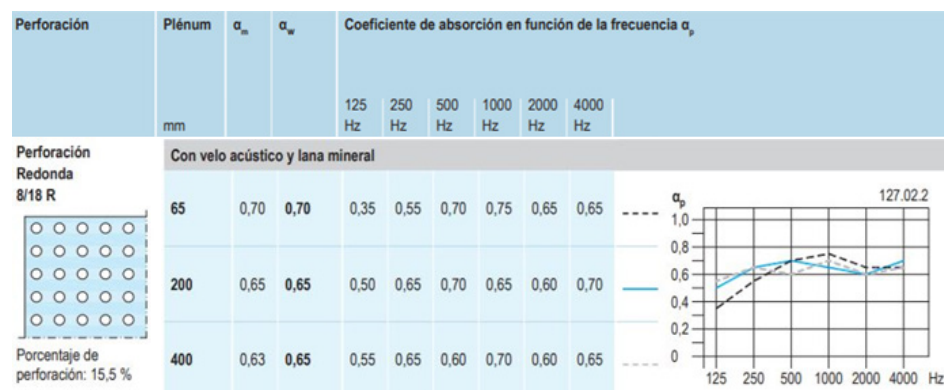


Figura 83. Placas Cleaneo® Akustik de 12,5 mm con velo acústico y lana mineral. Fuente: Knauf

Escogiendo el Plénium menor, de 65 mm, el coeficiente medio α_m es 0,70. Con este valor, podemos verificar si la solución constructiva con el producto convencional es válida técnicamente.

CUMPLIMIENTO CTE DB HR	con Placas Akustik Knauf	
ZONA COMÚN_ pasillo	Absorción acústica recinto	Absorción acústica exigida
PLANTA BAJA, V (m³)= 695,1	325,96	> 139,02
PLANTA PRIMERA, V (m³)= 693	305,95	> 138,60
PLANTA PRIMERA, V (m³)= 1882,05	636,02	> 376,41
	A recinto > A requerida	
	CUMPLE	

Figura 84. Procedimiento de aplicación del DB HR en los pasillos, utilizando el producto convencional de la casa Knauf. Fuente: elaboración propia

CUMPLIMIENTO CTE DB HR	con Placas Akustik Knauf		
AULAS	Absorción acústica del recinto	Tiempo de reverberación recinto	Tiempo de reverberación exigido
AULA TIPO 1, V (m³)= 323,16	119,16	0,66 s	< 0,7 s
AULA TIPO 2, V (m³)= 160,62	68,36	0,58 s	< 0,7 s
AULA TIPO 3, V (m³)= 97,11	45,85	0,53 s	< 0,7 s
AULA TIPO 4, V (m³)= 45,60	28,29	0,42 s	< 0,7 s
		T recinto < 0,7 s	
		CUMPLE	

Figura 85. Procedimiento de aplicación del DB HR en las aulas, utilizando el producto convencional de la casa Knauf. Fuente: elaboración propia

Observamos que si disponemos en las aulas y pasillos la placa de yeso con lana mineral es válida desde el punto de vista técnico. Cumple tanto la absorción acústica en las zonas comunes, como el tiempo de reverberación mínimo en el interior de las aulas.

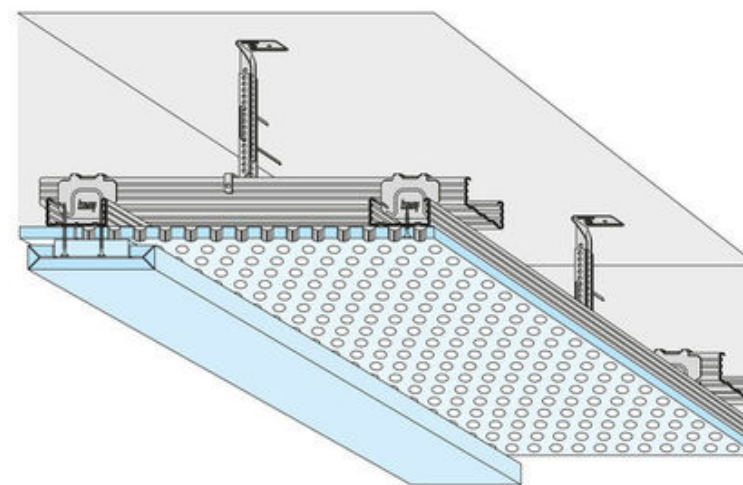
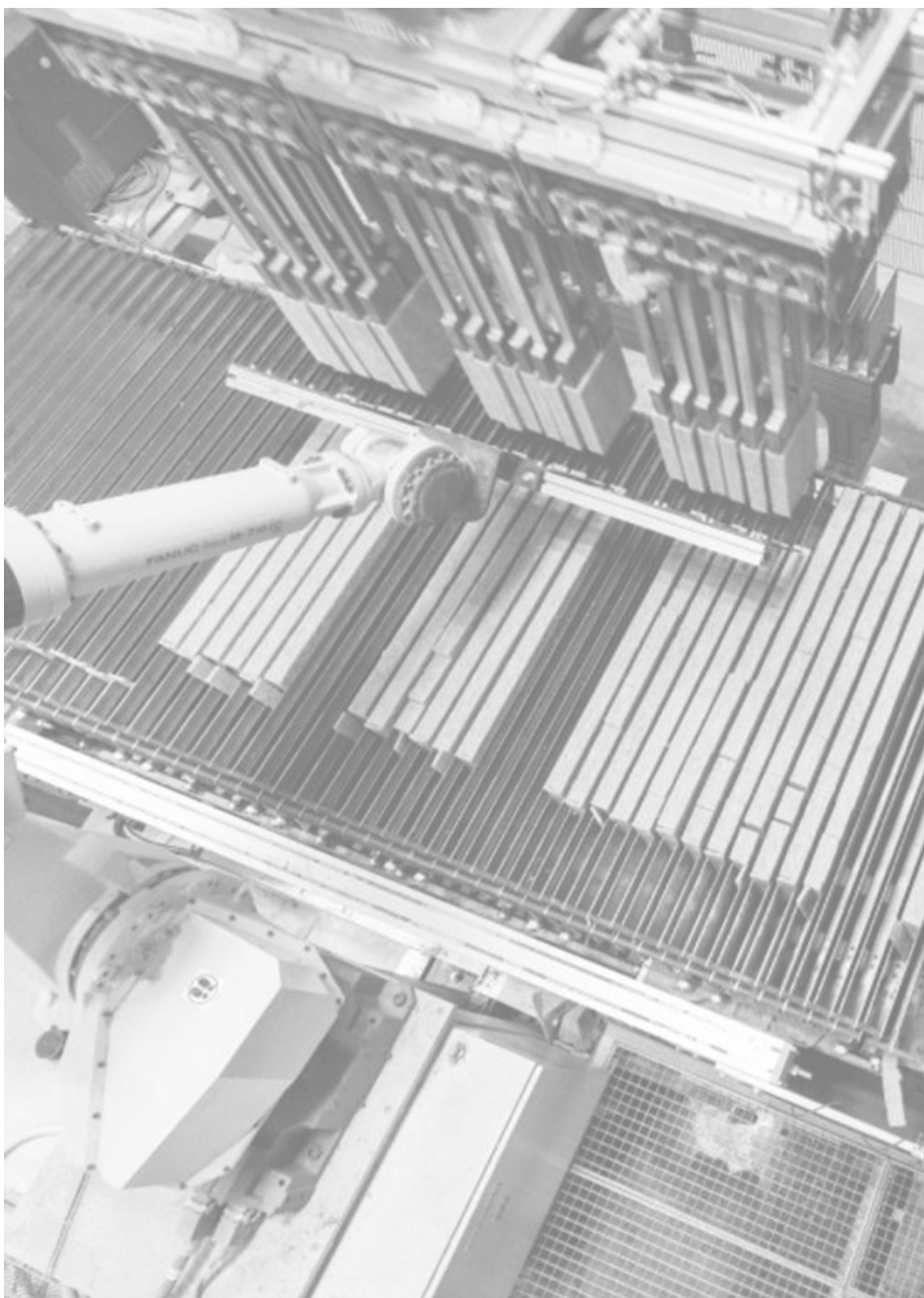


Figura 86. D12 TECHO SUSPENDIDO CONTINUO CLEANEO AKUSTIK. Fuente: Knauf



8.2 Impacto medioambiental de cada una de las soluciones

En cuanto al impacto medioambiental, tanto si aplicamos el producto de la casa *Knauf*, como si realizamos la rehabilitación acústica con nuestros paneles absorbentes a partir de residuos de trajes EPI, la respuesta es válida desde el punto de vista técnico. Sin embargo, uno de nuestros objetivos en el trabajo es dar una solución que sea óptima desde el punto de vista medioambiental.

Con la aplicación de nuestra propuesta de trasdosado y falso techo ecoeficiente, conseguimos una mejora en la absorción acústica del edificio. Además, el producto reutiliza el plástico desechable que conforman los trajes utilizados por los sanitarios durante la pandemia del Coronavirus, que actualmente, generan toneladas de residuos contaminados.

El producto convencional de la marca *Knauf*, trae consigo un proceso de fabricación que tiene efectos nocivos desde la perspectiva medioambiental. Por ello, las casas comerciales deben aportar un documento que recoja las “*Declaraciones Ambientales del Producto (DAP)*”, la cual proporciona información cuantitativa sobre el impacto medioambiental a lo largo del ciclo de vida del producto. Resulta de utilidad para cumplimentar la normativa vigente y para una posible mejora ambiental dentro del sector de la construcción.

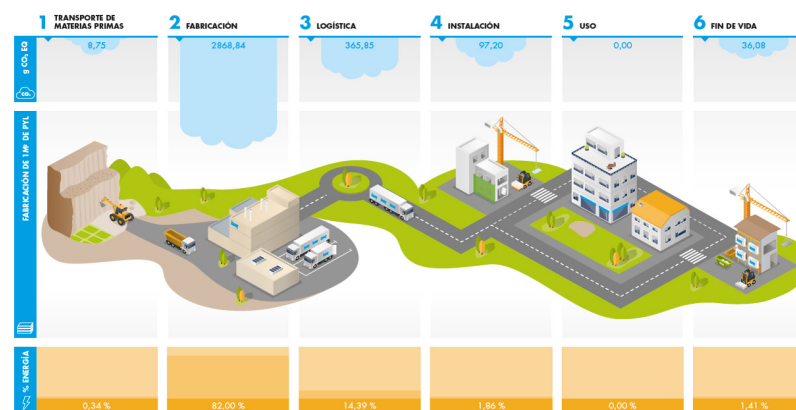


Figura 87. Energía consumida en la fabricación de 1 m² de PYL. Fuente: Declaraciones Ambientales de Producto de Construcción Knauf

Según el gráfico aportado en la DAP de *Knauf* [49], en este caso correspondiente al panel de yeso laminado (PYL), la etapa que más energía consume es la de fabricación, llegando a alcanzar el 82% del total. Con este dato y teniendo en cuenta que el desarrollo del trabajo se ha basado en el diseño y elaboración de un producto para la construcción, la comparativa ambiental la centraremos en la **fase de fabricación**.

El producto que compararemos es el utilizado anteriormente en la aplicación del caso práctico, la *Placa Cleaneo® Akustik de Knauf*, [48] que incluye lana mineral como aislante acústico.

La lana de roca es obtenida a través de un proceso de fusión a altas temperaturas de roca volcánica, con una serie de aditivos añadidos para poder adaptarse a diferentes formas. Por otro lado, la lana de vidrio se extrae de los residuos de vidrio y se convierte en un material fibroso. Para ambas opciones el proceso de fabricación consume una gran cantidad de energía, tal y como podemos observar en el siguiente esquema obtenido de la casa *Knauf*.

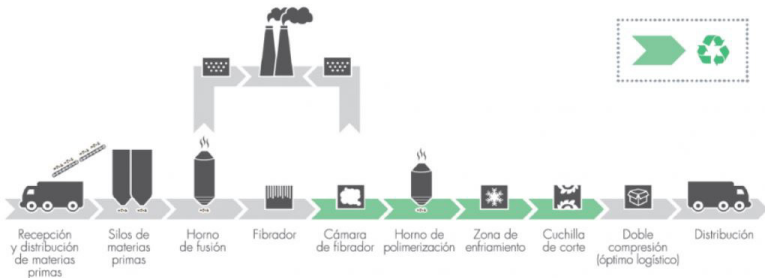


Figura 88. Esquema del proceso de fabricación de lana mineral. Fuente: Knauf

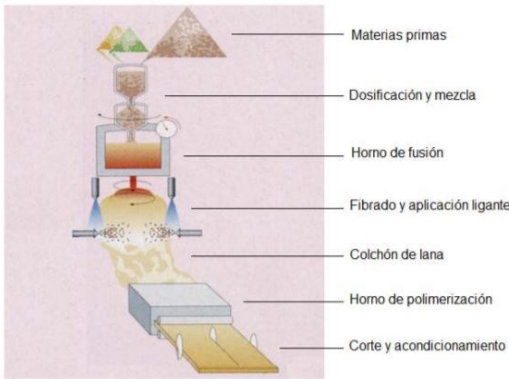


Figura 89. Esquema del proceso de fabricación de lana mineral. Fuente: Knauf

El paso de la materia prima por el horno de fusión y su posterior fibrado es la etapa que tiene un mayor impacto ambiental. Teniendo en cuenta su proceso de fabricación a partir de materias no reutilizadas y la producción de residuos que son depositados en vertederos controlados cuando finaliza su vida útil, podemos partir de la hipótesis de que la solución constructiva convencional de la casa *Knauf* tiene un resultado nocivo desde el aspecto medioambiental.

Analizamos la fase de fabricación de la lana mineral por metro cuadrado, basándonos en los parámetros utilizados en la “*Declaración Ambiental del Producto*” de *Knauf*: el Calentamiento global (kg CO₂), el Consumo de energía no renovable (MJ, valor calorífico neto), el Consumo de agua (m³) y la cantidad de Producción de residuos cuando finaliza su vida útil. Los comparamos, a su vez, con una hipótesis sobre la producción del absorbente propuesto obtenido a partir de batas y monos reutilizados:

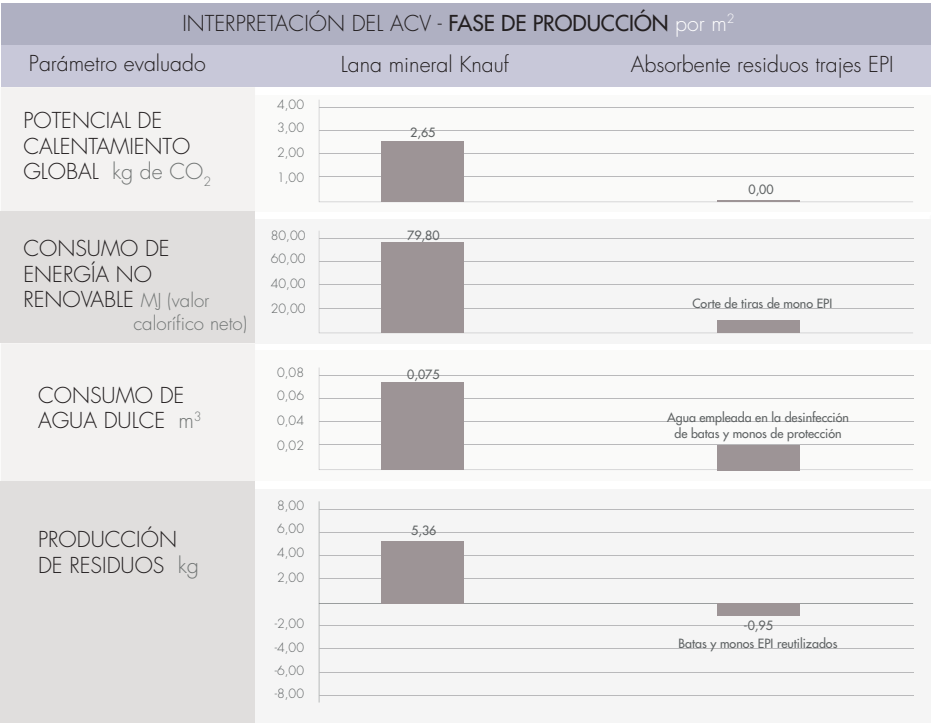


Figura 90. Interpretación del ACV, fase de producción por panel m².
Fuente: elaboración propia

Analizando los gráficos:

El potencial de calentamiento global es de 2,65 kg de CO² por parte de la lana mineral de *Knauf* frente a un 0% de emisiones de CO² que produce nuestra propuesta.

- El consumo de energía no renovable asciende hasta 79,80 MJ en el caso de la lana. Esto se debe, principalmente, al costoso proceso de fusión y fibrado que conlleva la transformación de la materia prima. En este caso, hemos considerado en nuestro producto ecoeficiente un cierto porcentaje hipotético que surge de la energía empleada para el corte de las tiras de mono EPI. También podemos considerar en este punto el medio de desinfección de los productos contaminados. A pesar de no conocer los datos cuantitativos, el consumo de energía no renovable en nuestra propuesta será inferior al de la casa *Knauf*.
- Para fabricar la lana mineral, el consumo de agua que estima *Knauf* es de 0,075 m³. Para el absorbente ecoeficiente, hemos considerado la cantidad de agua utilizada para desinfectar los trajes de protección. En cualquier caso, será inferior a la empleada por la lana mineral. Además, debemos considerar que nuestro producto contribuye a la no contaminación de las aguas marinas, lo que supondría un balance ambiental positivo.
- En cuanto a la producción de residuos, la lana mineral supondría 5,36 kg por metro cuadrado. El destino del producto es un vertedero controlado, el cual no se puede reutilizar. En este caso, se considera que la totalidad de kg utilizados de residuos de batas y monos EPI, podrían ser reutilizados. Además, el fin de nuestra solución constructiva es dar una segunda vida al plástico y eliminar residuos del medio ambiente. Por ello, no producimos residuos, los reutilizamos.

Realizamos la misma comparativa con la cantidad de material empleado en la rehabilitación del colegio. La superficie en la cual se ha intervenido consta de 2073,3 m². El peso de la lana mineral es aproximadamente 1,2 kg/m², por tanto, su aplicación en el colegio supondría 2487,96 kg. En cambio, si aplicamos nuestro absorbente conformado por residuos, cuyo peso es 0,95 kg/m², su aplicación se reduce en 1969,63 kg, un 1,26 kg/m² más ligero.

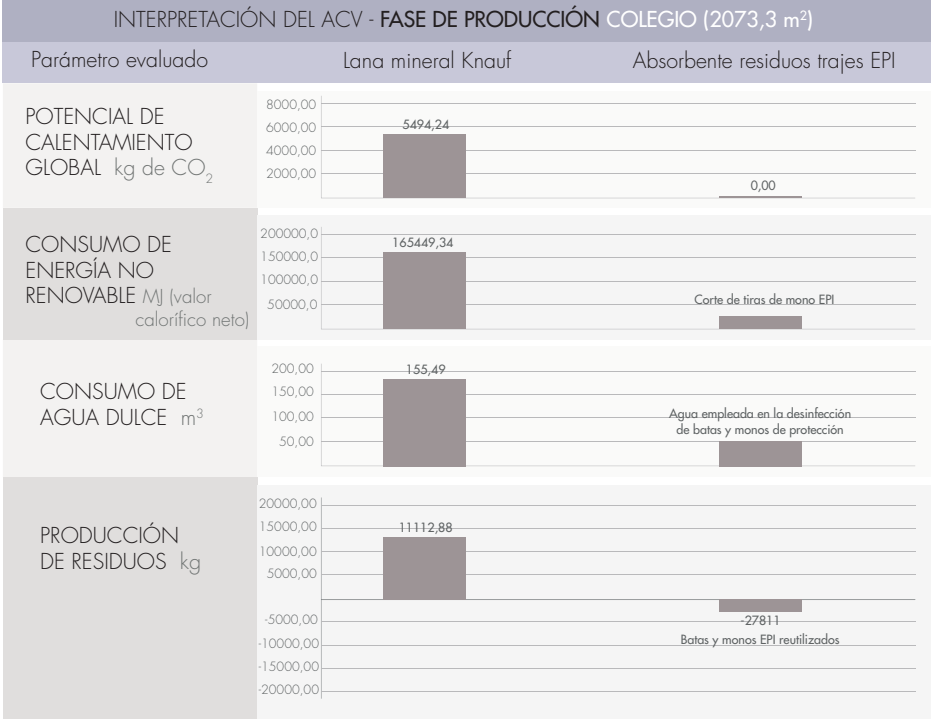


Figura 91. Interpretación del ACV, fase de producción aplicado al colegio.
Fuente: elaboración propia

Observamos que en cada parámetro los valores se disparan cuando utilizamos lana mineral. Sin embargo, la producción de CO² del absorbente acústico ecoeficiente sigue siendo cero. Si utilizamos los 1969,63 kg de residuo para llevar a cabo la rehabilitación acústica, el consumo de energía no renovable en el corte de los monos y el consumo de agua dulce en su desinfección supone un porcentaje muy inferior frente al empleado en la fabricación de la lana mineral. La producción de residuos con el producto convencional se eleva hasta alcanzar los 11112 kg. A la inversa, con nuestra propuesta, se reutiliza una cantidad total de 27811 trajes de protección sanitaria.

9. CONCLUSIONES

El trabajo nace del interés por lograr una mejora ambiental en el sector de la construcción que, actualmente, utiliza materias primas para generar sus productos y destina un porcentaje muy bajo al reciclaje de estas. Debido al auge de la crisis medioambiental del planeta y a la actual situación sanitaria derivada del SARS-CoV-2, los desechos generados por los humanos se han visto en aumento. Vemos imprescindible aportar una alternativa al problema mediante la reutilización de los residuos sanitarios, entre los que encontramos las batas quirúrgicas y los monos de protección, que son utilizados y desechados a diario en miles de hospitales de todo el mundo, considerados contaminantes.

Tras el análisis del ensayo acústico, el diseño y la propuesta del producto reutilizando tal residuo hemos procedido a su aplicación. El fin ha sido la rehabilitación acústica de un Colegio de Educación Infantil y Primaria en Almería, la cual se ha comprobado que cumple, tanto en el interior de las aulas como en las zonas comunes del edificio, con las exigencias técnicas dadas por el Código Técnico de la Edificación, en cuanto a la Protección frente al ruido.

Se ha verificado, en paralelo, la solución alternativa a nuestra propuesta. En situaciones comunes, se llevaría a cabo la rehabilitación acústica con paneles de yeso laminado, velo acústico y aislante de lana mineral. Esta aplicación es también válida con lo indicado en esta normativa, sin embargo, hemos comprobado que la fabricación de lana mineral conlleva un gran consumo de energía y una masiva generación de residuos cuando finaliza su vida útil.

Nuestro objetivo principal marcado en el trabajo ha sido apostar por la reutilización y reciclaje de los trajes de protección sanitaria, por ello, en el diseño del producto se opta por dar una segunda vida al plástico descontaminado.

En cuanto al producto propuesto:

- El falso techo y el trasdosado acústico pueden considerarse **productos ecoeficientes** para la construcción. Se componen de materias primas y elementos reciclados, a excepción de la estructura metálica que sostiene el falso techo, por cuestiones técnicas.
- Mejora la **absorción acústica** en recintos en los que se emiten frecuencias bajas y medias.
- Su aplicación supone la **reutilización de una gran cantidad de residuos** que se están generando con la actual crisis sanitaria y cuyo fin es la incineración.
- Reciclar los desechos de batas y monos supone liberar una porción de residuo plástico cuyo fin es la **contaminación de las aguas de los océanos**.
- Es una **solución más ligera** frente a la utilización de lana mineral, en torno a 0,95 kg menos por metro cuadrado.
- Su utilización **reduce las emisiones de CO²** que genera el proceso de fabricación de otros aislantes acústicos.
- Presenta una **ventaja ambiental** con respecto a la solución convencional, el balance, en este caso, es muy positivo.

Como posible futura línea de investigación se podría estudiar **cómo mejorar las condiciones técnicas de ambos productos**. Así como, realizar más perforaciones en el panel de yeso o introducir más cantidad de relleno acústico podrían ser unas de las opciones. Esta última, conlleva la reutilización de una mayor cantidad de plástico, medioambientalmente favorable.

La arquitectura debe ser sostenible. El reciclaje tiene como fin reducir la huella ambiental en la construcción y el ser humano debe ser consciente de ello.

10. BIBLIOGRAFÍA

[1] ¿Qué es el plástico?. (junio, 2020) de PlasticsEurope. <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>

[2] Cómo se fabrica el plástico.(junio, 2020) , de PlasticsEurope. <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/how-plastics-are-made>

[3] Historia del plástico . (junio, 2020) , de PlasticsEurope Recuperado de <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history>

[4] Tipos de plástico.(junio, 2021) , de PlasticsEurope Recuperado de <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/large-family>

[6] PlasticsEurope. (junio, 2020) Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, p.17. Recuperado de <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/4803-plasticos-situacion-en-2020>.

[7] Mundoplast. (octubre, 2019). La producción mundial de plásticos creció un 3,16% en 2018. Mundoplast, Recuperado de <https://mundoplast.com/produccion-plasticos-2018/>.

[8] Nota: Aparecerá mencionado en la redacción del trabajo como coronavirus o SARS-CoV-2

[9] Nota: Aparecerá mencionado en la redacción del trabajo como OMS.

[10] Global Health del CSIC. (2021, Agosto 15). UNA VISIÓN GLOBAL DE LA PANDEMIA COVID-19: QUÉ SABEMOS Y QUÉ ESTAMOS INVESTIGANDO DESDE EL CSIC. 2021, junio 20, de CSIC Recuperado de https://www.csic.es/sites/default/files/informe_cov19_pti_salud_global_csic_v2_1.pdf

[11] Eljarrat, E. (2020, Mayo 5). Daños colaterales de la COVID-19: el resurgir del plástico. The Conversation. Recuperado de <https://theconversation.com/danos-colaterales-de-la-covid-19-el-resurgir-del-plastico-137803>

[12] Comunicación, D. d. S. d. (2021, 28 de enero). Xavier Querol explica cómo la COVID-19 propició una mejor calidad del aire en su ponencia para abrir el Máster en Tecnología Ambiental. Recuperado de <https://www.unia.es/servicio-de-comunicacion-e-informacion/xavier-querol-explica-como-la-covid-19-propicio-una-mejor-calidad-del-aire-en-su-ponencia-para-abrir-el-master-en-tecnologia-ambiental>

[13] Adeline, M. (2020, Mayo 29). La pandemia resucita el plástico de un solo uso. sinc. Recuperado de <https://www.agenciasinc.es/Reportajes/La-pandemia-resucita-el-plastico-de-un-solo-uso#top>

[14] Nota: Aparecerá mencionado en la redacción del trabajo como EPI.

[15] SECOES. (2020, Mayo 18). Cuáles son los EPIS básicos frente al COVID-19, una guía clara y sencilla para todos. 2021, junio 20, de SECOES Recuperado de <http://www.equipodeproteccionindividual.com/cuales-son-los-epis-basicos-frente-al-covid-19-una-guia-clara-y-sencilla-para-todos/>

[16] DH MATERIAL MÉDICO. Material desechable. Bata de polipropileno de 25 gr, no estéril. <https://www.dhmaterialmedico.com/bata-de-polipropileno-de-25-gr-no-esteril-talla-unica-bolsa-de-5-unidades>

[17] Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación. (2021, Febrero 15). PROCEDIMIENTO DE ACTUACIÓN PARA LOS SERVICIOS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES FRENTE A LA EXPOSICIÓN AL SARS-CoV-2. 2021, junio 20, de Comisión de Salud Pública del CISNS Recuperado de https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Proteccion_Trabajadores_SARS-CoV-2.pdf

[18] Risk XXI. (2020, Abril 9). EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI) FRENTE A CORONAVIRUS – SARS-CoV-2. 2021, junio 20, de Risk XXI Recuperado de <https://www.risk21.com/equipos-proteccion-individual-epi-frente-coronavirus/>

[19] Organización Mundial de la Salud . (2020). Pasos para quitarse el equipo de protección personal, incluida la bata. 2021, junio 20, Recuperado de <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2015/Equipo-de-proteccion-personal-2015-3-A3-ESP.pdf>

[20] López, A. Mejía, R. Quinteros, E. (2020). Desinfección del Equipo de Protección Personal en la atención sanitaria de la pandemia COVID-19, de bvsalud.org Recuperado de https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/04/1087811/desinfeccion-del-equipode-proteccion-personal-epp-en-la-atenc_15mQOTw.pdf

[21] Eljarrat, E. (2020, Mayo 5). Daños colaterales de la COVID-19: el resurgir del plástico. 21 The Conversation. Recuperado de <https://theconversation.com/danos-colaterales-de-la-covid-19-el-resurgir-del-plastico-137803>

[20] Andersen, I. (2020). Trabajar con el medio ambiente para proteger a las personas. 2021, junio 20, de [www.unep.org](https://www.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/32218/UNEPCOVID_SP.pdf?sequence=15) Recuperado de https://www.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/32218/UNEPCOVID_SP.pdf?sequence=15

[21] Naciones Unidad. (2020, Septiembre 4). Gestión de residuos durante la pandemia de la COVID-19: de la respuesta a la recuperación. Retama. Recuperado de <https://www.retama.es/noticia/gestion-de-residuos-duranta-la-pandemia-de-la-covid-19-de-la-respuesta-a-la-recuperac-BkigZ>

[22] United Nations Environment Programme, International Environmental Technology Centre (IETC), IGES Center Collaborating with UNEP on Environmental Technologies (CCET) . (2020). Waste Management during the COVID-19 Pandemic. 2021, junio 20, de [unep.org](https://www.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/33416/WMC-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Recuperado de <https://www.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/33416/WMC-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[23] Ategi. (2020, Diciembre 1). RECICLAR MASCARILLAS, ¿UNA NUEVA LÍNEA DE NEGOCIO?. 2021, junio 20, de [ategi.com](https://www.ategi.com/2020/12/01/reciclar-mascarillas-una-nueva-linea-de-negocio/) Recuperado de <https://www.ategi.com/2020/12/01/reciclar-mascarillas-una-nueva-linea-de-negocio/>

[24] Ruiz, J. Gómez, R. Mata, J. García, P. Corbí, D. Marín, A. (2020, Diciembre 1). Validación de un método de desinfección de equipos de protección personal mediante el procedimiento de desinfección de superficies por vía aérea, utilizando aerosol seco . 2021, junio 20, de [www.josecollado.com](https://www.josecollado.com/uploads/comunicados/TERMINAL-FORTE-SR-IC-ESTUDIO-DESINFECION-EPIS-VIR-SARSCoV-2.pdf) Recuperado de <https://www.josecollado.com/uploads/comunicados/TERMINAL-FORTE-SR-IC-ESTUDIO-DESINFECION-EPIS-VIR-SARSCoV-2.pdf>

[25] Koruk, H. y Genc, G. (2015). Investigation of the acoustic properties of bio luffa fiber and composite materials. *Materials Letters*, 157, 166–168. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.05.071>

[26] Reixach, R., Del Rey, R., Alba, J., Arbat, G., Espinach, F. X. y Mutjé, P. (2015). Acoustic properties of agroforestry waste orange pruning fibers reinforced polypropylene composites as an alternative to laminated gypsum boards. *Construction and Building Materials*, 77, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.041>

[27] Karimipour, A., de Brito, J. y Edalati, M. (2021). Influence of polypropylene fibres on the thermal and acoustic behaviour of untreated coal coarse aggregates concrete. *Journal of Building Engineering*, 36, 102125. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.102125>

[28] Kłosak, A. K. (2020). Design, simulations and experimental research in the process of development of sound absorbing perforated ceiling tile. *Applied Acoustics*, 161, 107185. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107185>

[29] UNE-EN ISO 10534-1:2002. Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria. <http://www.aenor.es/> . Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

[30] CTE- DB HR. Código Técnico de la Edificación. Guía de aplicación del DB HR Protección frente al ruido. https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/GuiaHR/04_Capitulo2_1_aislamiento_acustico.pdf

[31] UNE-EN ISO 11654:1998. Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica. (ISO 11654:1997). <http://www.aenor.es/> . Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).

[32] UNE-EN ISO 354:2004. Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. (ISO 354:2003). (ISO 11654:1997). Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). <http://www.aenor.es/> .

[33] CTE- DB HR. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Protección frente al Ruido. <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/DBHR.pdf>

[34] Suárez Silgado, S. (2014). CONAMA2014, Congreso Nacional del Medio Ambiente. <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2014/CT%202014/1896712000.pdf>

[35] Cartón Nido de Abeja, S.L. Nidokraft (Septiembre 2015). PANEL NIDOKRAFT / NIDOBLANCO. <https://www.cartonnidodeabeja.com/wp-content/uploads/2015/11/FT-NIDOKRAFT-NIDOBLANCO-Sept-2015.pdf>

[36] UNE-EN 520:2005/A1:2010. Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). <http://www.aenor.es/> .

[37] UNE-EN 13279-1:2009. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). <http://www.aenor.es/>.

[38] UNE-EN 13963:2006. Material de juntas para placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). <http://www.aenor.es/>.

[39] UNE-EN 102043. Montaje de los sistemas constructivos con placa de yeso. Tabiques, techos y trasdosados. Definiciones, especificaciones y recomendaciones. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). <http://www.aenor.es/>.

[40] UNE-EN 13950:2014. Placa de yeso con aislamiento térmico/acústico. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). <http://www.aenor.es/>.

[41] UNE-EN ISO 12354-1:2018 (Versión corregida en fecha 2019-04-03). Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos. (ISO 12354-1:2017). Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor). <http://www.aenor.es/>.

[42] CTE- DB HE. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Ahorro de Energía. <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>

[43] CTE- DB HS. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Salubridad. <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>

[44] CTE- DB SI, Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad en caso de Incendio. <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadIncendio/DBSI.pdf>

[45] Molina Hurtado, MT., S Fernández González, S. (2006). Voz del niño. Revista de la Facultad de Medicina. Universidad de Navarra. <https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/35894/1/pdf.pdf>

[46] Rodero Antón, E., (noviembre, 2001). El tono de la voz masculina y femenina en los informativos radiofónicos. Universidad Pontificia de Salamanca. <http://www.bocc.ubi.pt/pag/rodero-emma-ono-voz-femenina.pdf>

[47] Catálogo informático de elementos constructivos (CEC), (marzo, 2010). Código Técnico de la Edificación. https://www.codigotecnico.org/pdf/Programas/CEC/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf

[48] D127.es Techo Cleaneo® Akustik, (enero, 2020). Hoja técnica D12.es Techo Knauf Cleaneo® Akustik. Knauf. <https://www.knauf.es/sites/default/files/2020-05/D12.es%20Techo%20Knauf%20Cleaneo%C2%AE%20Akustik%20%282020-01%29.pdf>

[49] DAPcons® (2010).Declaraciones Ambientales de Producto de Construcción. Knauf. <https://www.casasdemadera.com/wp-content/uploads/2014/07/9-Declaraci%C3%B3n-Ambiental-KNAUF-INSULATION.pdf>

11. APÉNDICE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de plásticos. Fuente: Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021.

Figura 2. Demanda Europa de plásticos 2019. Fuente: Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021.

Figura 3. Post-consumo Europa de plásticos 2018. Fuente: Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021.

Figura 4. Post-consumo España de plásticos 2018. Fuente: Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021.

Figura 5. Mecanismo de reciclaje del plástico. Fuente: Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021.

Figura 6. Evolución en la investigación sobre la enfermedad del COVID-19 según CSIC, 2020. Fuente: CSIC.

Figura 7. Evolución en la producción de plástico en Europa. Fuente: PlasticsEurope. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021.

Figura 8. Crecimiento en la producción de plástico en Europa. Fuente: PlasticsEurope. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 2021.

Figura 9. Componentes del equipo de protección individual recomendados para la protección frente al nuevo coronavirus SARS-COV-2, 2020 Fuente: Gobierno de España.

Figura 10. Contenedor de residuos sanitarios.

Figura 11. Riesgos y desafíos asociados a la gestión de residuos en la pandemia de COVID-19, 2020. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET

Figura 12. Resumen de los resultados de la encuesta del cuestionario, 2020. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET

Figura 13. Tratamiento del residuo, 2020. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET.

Figura 14. Tasas medias de generación de residuos por tipo de instalación, 2020. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET.

Figura 15. Cantidad de residuos sanitarios generados (Toneladas por día) en los países seleccionados, 2020. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET.

Figura 16. Estimación de la cantidad adicional de HCH en cada ciudad debido a la pandemia de COVID-19, 2020. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET.

Figura 17. Porcentaje de países por región con legislación adoptada sobre la gestión de residuos sanitarios, 2020. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET.

Figura 18. Pros y contras de la aplicación de la opción de incineración, 2020. Fuente: UNEP, IETC, IGES Center Collaborating with CCET.

Figura 19. Recinto y 100 equipos de protección para la desinfección, 2020. Fuente: Hospital Quirón Salud Torrevieja.

Figura 20. Dimensiones y disposición del recinto utilizado para la desinfección, 2020. Fuente: Hospital Quirón Salud Torrevieja.

Figura 21. Realización de las 4 probetas. Fuente: Materials Letters. Investigation of the acoustic Properties of luffa fiber and composite materials.

Figura 22. Realización del ensayo Tubo de Kundt. Fuente: Materials Letters. Investigation of the acoustic Properties of luffa fiber and composite materials.

Figura 23. Resultados acústicos. Fuente: Materials Letters. Investigation of the acoustic Properties of luffa fiber and composite materials

Figura 24. Ensayo acústico en Tubo de Kundt. Fuente: Construction and building materials. Acoustic properties of agroforestry waste orange pruning fibers reinforced polypropylene composites as an alternative to laminated gypsum boards.

Figura 25. Características y resultados de las probetas. Fuente: Construction and building materials. Acoustic properties of agroforestry waste orange pruning fibers reinforced polypropylene composites as an alternative to laminated gypsum boards.

Figura 26. Materiales utilizados en el estudio. Fuente: Journal of Building Engineering. Influence of polypropylene fibres on the thermal and acoustic behaviour of untreated coal coarse aggregates concrete.

Figura 27. Tamaño de las fibras de polipropileno. Fuente: Journal of Building Engineering. Influence of polypropylene fibres on the thermal and acoustic behaviour of untreated coal coarse aggregates.

Figura 28. Resultados acústicos. Fuente: Journal of Building Engineering. Influence of polypropylene fibres on the thermal and acoustic behaviour of untreated coal coarse aggregates concrete.

Figura 29. Resultados acústicos. Fuente: Journal of Building Engineering. Influence of polypropylene fibres on the thermal and acoustic behaviour of untreated coal coarse aggregates concrete.

Figura 30. Ejemplo de dos patrones con diferente ratio de perforación, para los cuales (entre otros) se realizó el test de preferencia visual. 2020. Fuente: Design, simulations and experimental research in the process of development of sound absorbing perforated ceiling tile.

Figura 31. Resultados de cálculo de aire específico resistencia al flujo de nueve tejidos porosos. 2020. Fuente: Design, simulations and experimental research in the process of development of sound absorbing perforated ceiling tile.

Figura 32. Gráficas de las soluciones numéricas de la influencia del espesor del panel. 2020. Fuente: Design, simulations and experimental research in the process of development of sound absorbing perforated ceiling tile.

Figura 33. Fotografías de las distintas perforaciones que tiene cada muestra de probeta, para su posterior medición en el tubo de Kundt. 2020. Fuente: Design, simulations and experimental research in the process of development of sound absorbing perforated ceiling tile.

Figura 34. Sección esquemática del tubo de impedancia - Influencia del diámetro del tubo y la posición del corte en la relación de perforación efectiva para una muestra perforada con un diámetro de orificio de 5mm. 2020. Fuente: Design, simulations and experimental research in the process of development of sound absorbing perforated ceiling tile.

Figura 35. Ilustraciones de las muestras para las medidas del tubo de impedancia de dos tipos de lana mineral. 2020. Fuente: Design, simulations and experimental research in the process of development of sound absorbing perforated ceiling tile.

Figura 36. Comparación de la influencia de la adición de lana mineral en la absorción acústica medida en el tubo de impedancia de la muestra A y B. 2020. Fuente: Design, simulations and experimental research in the process of development of sound absorbing perforated ceiling tile.

Figura 37. Comparación de la influencia de la adición de lana mineral en la absorción acústica medida en el tubo de impedancia de la muestra B. 2020. Fuente: Design, simulations and experimental research in the process of development of sound absorbing perforated ceiling tile.

Figura 38. Materiales utilizados en la elaboración de probetas. Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Mezcla de yeso y agua. Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Elaboración de probetas en blanco. Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Proceso de elaboración de muestras con tres perforaciones. Fuente: elaboración propia.

Figura 42. Proceso de elaboración de muestras con una perforación. Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Configuraciones de perforación para realizar el ensayo. Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Mono de protección y fragmento de bata quirúrgica utilizados en el ensayo. Fuente: elaboración propia

Figura 45. Preparación de las probetas con la lijadora. Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Esquema de metodología y nomenclaturas seguidas para realizar las mediciones. Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Esquema de metodología y nomenclaturas seguidas para realizar las mediciones. Fuente: elaboración propia

Figura 48. Instrumentos utilizados para el ensayo Tubo de Kundt. Fuente: elaboración propia.

Figura 49. Colocación de las probetas en Tubo de Kundt. Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Gráfica A: relación entre el coeficiente de absorción acústica (α) y la frecuencia (Hz), probeta de referencia sin velo. Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Gráfica B: relación entre el coeficiente de absorción acústica (α) y la frecuencia (Hz), probeta de referencia con velo. Fuente: elaboración propia.

Figura 52. Gráfica C: relación entre el coeficiente de absorción acústica (α) y la frecuencia (Hz), muestras sin velo A1/B1. Fuente: elaboración propia.

Figura 53. Gráfica D: relación entre el coeficiente de absorción acústica (α) y la frecuencia (Hz), muestras con velo A2/B2. Fuente: elaboración propia.

Figura 54. Gráfica E: relación entre el coeficiente de absorción acústica (α) y la frecuencia (Hz), muestras sin velo C1/D1. Fuente: elaboración propia.

Figura 55. Gráfica F: relación entre el coeficiente de absorción acústica (α) y la frecuencia (Hz), muestras con velo C2/D2. Fuente: elaboración propia.

Figura 56. Esquema básico de un resonador simple de cavidad (Helmholtz) montado en una pared Fuente: "Diseño acústico de espacios arquitectónicos". Fuente: Antonio Carrión Isbert. Ediciones UPC.

Figura 57. Esquema básico de un resonador múltiple de cavidad (Helmholtz) a base de paneles perforados o ranurados. Fuente: Antonio Carrión Isbert. Ediciones UPC.

Figura 58. Cálculo de la frecuencia de resonancia para la probeta A/B. Fuente: elaboración propia.

Figura 59. Cálculo de la frecuencia de resonancia para la probeta A/B modificada. Fuente: elaboración propia.

Figura 60. Cálculo de la frecuencia de resonancia para la probeta A/B modificada. Fuente: elaboración propia.

Figura 61. Comportamiento cualitativo frente a la frecuencia del coeficiente de absorción del mismo con y sin absorbente poroso en la cavidad. Fuente: Temario de Acústica arquitectónica, FFIA, ETSAS.

Figura 62. Clases de absorción acústica. Fuente: UNE-EN ISO (1997).

Figura 63. Coeficientes de absorción sonora práctico según las clases. Fuente: UNE-EN ISO (1997).

Figura 64. Coeficiente de absorción sonora medio. Fuente: elaboración propia.

Figura 65. Coeficiente de absorción sonora práctico. Fuente: elaboración propia.

Figura 66. Curva de referencia para evaluar el coeficiente de absorción acústica ponderado según UNE-EN ISO 11654:1997 aplicando C2/D2 0,025 g/cm³. Fuente: elaboración propia.

Figura 67. Coeficientes de absorción sonora práctico C2/D2 0,025 g/cm³, según las clases UNE-EN ISO (1997). Fuente: elaboración propia.

Figura 68. Relación de áreas entre la probeta circular y la probeta cuadrada. Fuente: elaboración propia.

Figura 69. Vista frontal del panel tipo de falso techo acústico y del panel tipo de trasdosado acústico. Fuente: elaboración propia

Figura 70. Componentes de un panel tipo. Fuente: elaboración propia.

Figura 71. Detalle constructivo tipo del trasdosado propuesto, encuentro entre el panel de yeso con y sin perforaciones. Fuente: elaboración propia.

Figura 72. Detalle constructivo del encuentro entre el trasdosado sin perforaciones y el forjado por la cara superior. Fuente: elaboración propia.

Figura 73. Detalle constructivo tipo del falso techo propuesto. Fuente: elaboración propia.

Figura 74. Detalle constructivo del encuentro entre el trasdosado y el falso techo propuesto. Fuente: elaboración propia.

Figura 75. Configuración del tracto vocal durante la fonación de las distintas vocales. Fuente: Revista de Medicina de la Universidad de Navarra.

Figura 76. Volumetría del colegio a rehabilitar. Fuente: elaboración propia.

Figura 77. DB HR Protección frente al ruido. Acondicionamiento acústico. Fuente: elaboración propia.

Figura 78. Procedimiento de aplicación del DB HR para acondicionamiento acústico. Fuente: elaboración propia.

Figura 79. Procedimiento de aplicación del DB HR en los pasillos, sin rehabilitación acústica. Fuente: elaboración propia.

Figura 80. Procedimiento de aplicación del DB HR en las aulas, sin rehabilitación acústica. Fuente: elaboración propia.

Figura 81. Procedimiento de aplicación del DB HR en los pasillos, utilizando el producto ecoeficiente. Fuente: elaboración propia.

Figura 82. Procedimiento de aplicación del DB HR en las aulas, utilizando el producto ecoeficiente. Fuente: elaboración propia.

Figura 83. Placas Cleaneo® Akustik de 12,5 mm con velo acústico y lana mineral. Fuente: Knauf.

Figura 84. Procedimiento de aplicación del DB HR en los pasillos, utilizando el producto convencional de la casa Knauf. Fuente: elaboración propia.

Figura 85. Procedimiento de aplicación del DB HR en las aulas, utilizando el producto convencional de la casa Knauf. Fuente: elaboración propia.

Figura 86. D12 TECHO SUSPENDIDO CONTINUO CLEANEO AKUSTIK. Fuente: Knauf.

Figura 87. Energía consumida en la fabricación de 1 m² de PYL. Fuente: Declaraciones Ambientales de Producto de Construcción Knauf.

Figura 88. Esquema del proceso de fabricación de lana mineral. Fuente: Knauf.

Figura 89. Esquema del proceso de fabricación de lana mineral. Fuente: Knauf.

Figura 90. Interpretación del ACV, fase de producción por panel m². Fuente: elaboración propia.

Figura 91. Interpretación del ACV, fase de producción aplicado al colegio. Fuente: elaboración propia.

12. ANEXOS

1. Resultados de ensayo acústico, según el tipo de probeta

Hz	αmedia				
	Referencia 01/02	A10/B10	A11/B11	A12/B12	A13/B13
250	0,8392	0,4348	0,5551	0,6811	0,7107
500	0,2685	0,4089	0,4140	0,4567	0,4067
1000	0,1138	0,1614	0,1517	0,1406	0,1272
2000	0,1201	0,1144	0,1260	0,1140	0,1216

Hz	αmedia				
	Referencia 01/02	A20/B20	A21/B21	A22/B22	A23/B23
250	0,8392	0,5399	0,5959	0,6342	0,6015
500	0,2685	0,6389	0,5868	0,5600	0,4996
1000	0,1138	0,1859	0,1826	0,1642	0,1633
2000	0,1201	0,1343	0,1150	0,1037	0,1165

Hz	αmedia				
	Referencia 01/02	C10/D10	C11/D11	C12/D12	C13/D13
250	0,8392	0,3154	0,3329	0,4470	0,4578
500	0,2685	0,5866	0,5841	0,5611	0,5561
1000	0,1138	0,1399	0,1388	0,1561	0,1439
2000	0,1201	0,1298	0,1246	0,1211	0,1223

Hz	αmedia				
	Referencia 01/02	C20/D20	C21/D21	C22/D22	C23/D23
250	0,8392	0,5088	0,5751	0,5882	0,6070
500	0,2685	0,7193	0,6896	0,6627	0,6554
1000	0,1138	0,2102	0,1892	0,1888	0,1921
2000	0,1201	0,1472	0,1307	0,1333	0,1370

2. Cálculo de las exigencias del CTE DB HR

- Aplicando producto ecoeficiente

ZONA COMUN_ pasillo	Elemento	Acabado	S área (m2)	Coeficiente de absorción acústica, α 500 Hz - 1000 Hz - 2000 Hz - α _m				Absorción acústica (m2) α m * S
PLANTA BAJA								
Volumen, V (m3): 695,1	Suelo	Terrazo	231,7	0,01	0,02	0,02	0,02	4,63
		Enlucido de yeso	188,4	0,01	0,01	0,02	0,01	1,88
		Trasdosado de panel de yeso perforado 2% + residuo	188,4	0,65	0,2	0,15	0,40	75,36
	Absorción del aire	Vidrio	46,08	0,05	0,04	0,03	0,04	1,84
		Puertas de madera	85,8	0,08	0,08	0,08	0,08	6,86
		Falso techo acústico continuo de panel de yeso perforado 2%	231,7	0,65	0,2	0,15	0,40	92,68
	Objetos	-	-	-	-	-	-	-
Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	m _m = 0,006		4 * m _m * V = 16,68				
A del recinto = 199,8 > 139,02 = 0,2 * V								

PLANTA PRIMERA								
Volumen, V (m3): 693	Suelo	Terrazo	231	0,01	0,02	0,02	0,02	4,62
	Paramentos	Enlucido de yeso	175,65	0,01	0,01	0,02	0,01	1,75
		Trasdosado de panel de yeso perforado 2% + residuo	187,89	0,65	0,2	0,15	0,40	75,15
		Vidrio	41,05	0,05	0,04	0,03	0,04	1,64
	Objetos	Puertas de madera	101,2	0,08	0,08	0,08	0,08	8,09
		Falso techo acústico continuo de panel de yeso perforado 2%	231	0,65	0,2	0,15	0,40	92,4
	Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	-	m _m = 0,006	4 * m _m * V = 16,63			

PLANTA SEGUNDA								
Volumen, V (m3): 1882,05	Suelo	Terrazo	627,35	0,01	0,02	0,02	0,02	12,54
	Paramentos	Enlucido de yeso	167,55	0,01	0,01	0,02	0,01	1,67
		Trasdosado de panel de yeso perforado 2% + residuo	246	0,65	0,2	0,15	0,40	98,4
	Objetos	Vidrio	134,45	0,05	0,04	0,03	0,04	5,37
		Puertas de madera	63,8	0,08	0,08	0,08	0,08	5,1
		Falso techo acústico continuo de panel de yeso perforado 2%	627,35	0,65	0,2	0,15	0,40	250,64
	Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	-	m _m = 0,006	4 * m _m * V = 45,16			

AULAS	Elemento	Acabado	S área (m2)	Coeficiente de absorción acústica, α				Absorción acústica (m2) α m² S
TIPO 1: 107,72 m2				500 Hz - 1000 Hz - 2000 Hz - αn				
Volumen, V (m3): 323,16	Suelo	Terrazo	107,72	0,01	0,02	0,02	0,02	2,15
	Paramentos	Enlucido de yeso	57,3	0,01	0,01	0,02	0,01	0,57
		Trasdosado de panel de yeso perforado 2% + residuo	57,3	0,65	0,2	0,15	0,40	22,92
		Vidrio	14,6	0,05	0,04	0,03	0,04	0,58
		Puertas de madera	4,4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,35
	Techo	Falso techo acústico continuo de panel de yeso perforado 2%	107,72	0,65	0,2	0,15	0,40	43
	Objetos	-	-	-	-	-	-	-
Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	-	m _a = 0,006	4 * m _a * V = 7,75				

AULAS		T del recinto = 0,66 < 0,7 s		S área (m2)		Coeficiente de absorción acústica, α			Absorción acústica (m2 am) α * S	
TIPO 2: 53,54 m2		Acabado				500 Hz - 1000 Hz - 2000 Hz - αn				
Volumen, V (m3): 160,62	Suelo	Terrazo		53,54	0,01	0,02	0,02	0,02		1,07
		Paramentos	Enlucido de yeso	41,06	0,01	0,01	0,02	0,01		0,41
			Trasdosado de panel de yeso perforado 2% + residuo	41,06	0,65	0,2	0,15	0,40		16,42
					0,05	0,04	0,03	0,04		0,32
			Puertas de madera	4,4	0,08	0,08	0,08	0,08		0,35
			Falso techo acústico continuo de panel de yeso perforado 2%	53,54	0,65	0,2	0,15	0,40		21,41
	Objetos		-	-	-	-	-	-	-	-
Absorción del aire		T = 20°C HR = 50%	-		m _m = 0,006		4 * m _m * V = 3,85			

AULAS		T del recinto = 0,58 < 0,7 s		S	Coeficiente de absorción acústica, α			Absorción acústica (m² am) * S	
TIPO 3: 32,37 m²		Acabado		S	500 Hz - 1000 Hz - 2000 Hz - αm				
Volumen, V (m³): 97,11	Suelo	Terrazo		32,37	0,01	0,02	0,02	0,02	0,64
	Paramentos	Enlucido de yeso		30,85	0,01	0,01	0,02	0,01	0,3
		Trasdosado de panel de yeso perforado 2% + residuo		30,85	0,65	0,2	0,15	0,40	12,34
	Absorción del aire	Vidrio		8,22	0,05	0,04	0,03	0,04	0,32
		Puertas de madera		4,4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,35
		Falso techo acústico continuo de panel de yeso perforado 2%		32,37	0,65	0,2	0,15	0,40	12,94
	Objetos	-	-	-	-	-	-	-	-
Absorción del aire		T = 20°C HR = 50%	m _m = 0,006		4 * m _m * V = 2,33				

AULAS		T del recinto = 0,53 < 0,7 s		S área (m2)		Coeficiente de absorción acústica, α		Absorción acústica (m2) α * S	
TIPO 4: 15,20 m2		Acabado				500 Hz - 1000 Hz - 2000 Hz - αm			
Volumen, V (m3): 45,60	Suelo	Terrazo		15,2	0,01	0,02	0,02	0,02	0,64
		Enlucido de yeso		22,92	0,01	0,01	0,02	0,01	0,3
		Trasdosado de panel de yeso perforado 2% + residuo		22,92	0,65	0,2	0,15	0,40	12,34
		Vidrio		5,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,32
	Techo	Puertas de madera		2,2	0,08	0,08	0,08	0,08	0,35
		Falso techo acústico continuo de panel de yeso perforado 2%		15,2	0,65	0,2	0,15	0,40	12,94
		Objetos		-	-	-	-	-	-
Absorción del aire		T = 20°C HR = 50%	m _m = 0,006		4 * m _m * V = 1,09				

PROPUESTA DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES PARA LA CONSTRUCCIÓN:

TRASDOSADO Y FALSO TECHO ACÚSTICO A PARTIR DE TRAJES EPI UTILIZADOS DURANTE LA COVID-19

- Aplicando producto convencional

ZONA COMÚN_pasillo		Elemento	Acabado	S área (m2)	Coeficiente de absorción acústica, α				Absorción acústica (m2) $\alpha_m \cdot S$
PLANTA BAJA					500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	- α_m	
Volumen, V (m3): 695,1	Suelo	Terrazo		231,7	0,01	0,02	0,02	0,02	4,63
		Paramentos	Enlucido de yeso	188,4	0,01	0,01	0,02	0,01	1,88
			Placas Cleaneo® Akustik Knauf	188,4	0,70	0,75	0,65	0,70	131,88
			Vidrio	46,08	0,05	0,04	0,03	0,04	1,84
			Puertas de madera	85,8	0,08	0,08	0,08	0,08	6,86
	Techo	Objetos	Placas Cleaneo® Akustik Knauf	231,7	0,70	0,75	0,65	0,70	162,19
	Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	-	$m_a = 0,006$	4 * $m_a \cdot V = 16,68$				
		A del recinto = 325,96 > 139,02 = 0,2 * V							
	PLANTA PRIMERA								
Volumen, V (m3): 693	Suelo	Terrazo		231	0,01	0,02	0,02	0,02	4,62
		Paramentos	Enlucido de yeso	175,65	0,01	0,01	0,02	0,01	1,75
			Placas Cleaneo® Akustik Knauf	187,89	0,70	0,75	0,65	0,70	131,52
			Vidrio	41,05	0,05	0,04	0,03	0,04	1,64
			Puertas de madera	101,2	0,08	0,08	0,08	0,08	8,09
	Techo	Objetos	Placas Cleaneo® Akustik Knauf	231	0,70	0,75	0,65	0,70	161,7
	Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	-	$m_a = 0,006$	4 * $m_a \cdot V = 16,63$				
		A del recinto = 305,95 > 138,6 = 0,2 * V							
	PLANTA SEGUNDA								
Volumen, V (m3): 1882,05	Suelo	Terrazo		627,35	0,01	0,02	0,02	0,02	12,54
		Paramentos	Enlucido de yeso	167,55	0,01	0,01	0,02	0,01	1,67
			Placas Cleaneo® Akustik Knauf	246	0,70	0,75	0,65	0,70	172,2
			Vidrio	134,45	0,05	0,04	0,03	0,04	5,37
			Puertas de madera	63,8	0,08	0,08	0,08	0,08	5,1
	Techo	Objetos	Placas Cleaneo® Akustik Knauf	627,35	0,70	0,75	0,65	0,70	439,14
	Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	-	$m_a = 0,006$	4 * $m_a \cdot V = 45,16$				
		A del recinto = 636,02 > 376,41 = 0,2 * V							

AULAS		Elemento	Acabado	S área (m2)	Coeficiente de absorción acústica, α				Absorción acústica (m2) $\alpha_m \cdot S$
TIPO 1: 107,72 m2					500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	- α_m	
Volumen, V (m3): 323,16	Suelo	Terrazo		107,72	0,01	0,02	0,02	0,02	2,15
				57,3	0,01	0,01	0,02	0,01	0,57
		Paredamentos	Placas Cleaneo® Akustik Knauf	57,3	0,70	0,75	0,65	0,70	40,11
			Vidrio	14,6	0,05	0,04	0,03	0,04	0,58
			Puertas de madera	4,4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,35
	Techo	Objetos	Placas Cleaneo® Akustik Knauf	107,72	0,70	0,75	0,65	0,70	75,4
			-	-	-	-	-	-	-
		Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	$m_{a0} = 0,006$	4 * $m_{a0} \cdot V = 7,75$				
			A del recinto = 119,16 > 64,63 = 0,2 * V						
			T del recinto = 0,43 < 0,7 s						

AULAS		Elemento	Acabado	S área (m2)	Coeficiente de absorción acústica, α				Absorción acústica (m2) $\alpha_m \cdot S$
TIPO 2: 53,54 m2					500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	- α_m	
Volumen, V (m3): 160,62	Suelo	Terrazo		53,54	0,01	0,02	0,02	0,02	1,07
				41,06	0,01	0,01	0,02	0,01	0,41
		Paredamentos	Placas Cleaneo® Akustik Knauf	41,06	0,70	0,75	0,65	0,70	28,74
			Vidrio	8,2	0,05	0,04	0,03	0,04	0,32
			Puertas de madera	4,4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,35
	Techo	Objetos	Placas Cleaneo® Akustik Knauf	53,54	0,70	0,75	0,65	0,70	37,47
			-	-	-	-	-	-	-
		Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	$m_{a0} = 0,006$	4 * $m_{a0} \cdot V = 3,85$				
			A del recinto = 68,36 > 32,12 = 0,2 * V						
			T del recinto = 0,37 < 0,7 s						

AULAS		Elemento	Acabado	S área (m2)	Coeficiente de absorción acústica, α				Absorción acústica (m2) $\alpha_m \cdot S$
TIPO 3: 32,37 m2					500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	- α_m	
Volumen, V (m3): 97,11	Suelo	Terrazo		32,37	0,01	0,02	0,02	0,02	0,64
				30,85	0,01	0,01	0,02	0,01	0,3
		Paredamentos	Placas Cleaneo® Akustik Knauf	30,85	0,70	0,75	0,65	0,70	21,59
			Vidrio	8,22	0,05	0,04	0,03	0,04	0,32
			Puertas de madera	4,4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,35
	Techo	Objetos	Placas Cleaneo® Akustik Knauf	32,37	0,70	0,75	0,65	0,70	22,65
			-	-	-	-	-	-	-
		Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	$m_{a0} = 0,006$	4 * $m_{a0} \cdot V = 2,33$				
			A del recinto = 45,85 > 19,42 = 0,2 * V						
			T del recinto = 0,33 < 0,7 s						

AULAS		Elemento	Acabado	S área (m2)	Coeficiente de absorción acústica, α				Absorción acústica (m2) $\alpha_m \cdot S$
TIPO 4: 15,20 m2					500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	- α_m	
Volumen, V (m3): 45,60	Suelo	Terrazo		15,2	0,01	0,02	0,02	0,02	0,64
				22,92	0,01	0,01	0,02	0,01	0,3
		Paredamentos	Placas Cleaneo® Akustik Knauf	22,92	0,70	0,75	0,65	0,70	16,04
			Vidrio	5,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,32
			Puertas de madera	2,2	0,08	0,08	0,08	0,08	0,35
	Techo	Objetos	Placas Cleaneo® Akustik Knauf	15,2	0,70	0,75	0,65	0,70	10,64
			-	-	-	-	-	-	-
		Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	$m_{a0} = 0,006$	4 * $m_{a0} \cdot V = 1,09$				
			A del recinto = 28,29 > 9,12 = 0,2 * V						
			T del recinto = 0,25 < 0,7 s						



- Sin rehabilitación acústica

ZONA COMÚN_pasillo		Elemento	Acabado	S área (m2)	Coeficiente de absorción acústica, α				Absorción acústica (m2) $\alpha_m \cdot S$
PLANTA BAJA					500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	α_m	
Volumen, V (m3): 695,1	Suelo	Terrazo		231,7	0,01	0,02	0,02	0,02	4,63
		Enlucido de yeso		376,8	0,01	0,01	0,02	0,01	3,76
		Vidrio		46,08	0,05	0,04	0,03	0,04	1,84
		Puertas de madera		85,8	0,08	0,08	0,08	0,08	6,86
		Enlucido de yeso		231,7	0,01	0,01	0,02	0,01	2,31
	Techo								
	Objetos	-	-	-	-	-	-	-	-
	Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	$m_a = 0,006$	4 * $m_a \cdot V = 16,68$					
		A del recinto = 36,08 < 139,02 = 0,2 * V							
PLANTA PRIMERA									
Volumen, V (m3): 693	Suelo	Terrazo		231	0,01	0,02	0,02	0,02	4,62
		Enlucido de yeso		526,95	0,01	0,01	0,02	0,01	5,26
		Vidrio		41,05	0,05	0,04	0,03	0,04	1,64
		Puertas de madera		101,2	0,08	0,08	0,08	0,08	8,09
		Enlucido de yeso		231	0,01	0,01	0,02	0,01	2,31
	Techo								
	Objetos	-	-	-	-	-	-	-	-
	Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	$m_a = 0,006$	4 * $m_a \cdot V = 16,63$					
		A del recinto = 48,55 < 138,6 = 0,2 * V							
PLANTA SEGUNDA									
Volumen, V (m3): 1882,05	Suelo	Terrazo		627,35	0,01	0,02	0,02	0,02	12,54
		Enlucido de yeso		413,55	0,01	0,01	0,02	0,01	4,13
		Vidrio		134,45	0,05	0,04	0,03	0,04	5,37
		Puertas de madera		63,8	0,08	0,08	0,08	0,08	5,1
		Enlucido de yeso		627,35	0,01	0,01	0,02	0,01	6,27
	Techo								
	Objetos	-	-	-	-	-	-	-	-
	Absorción del aire	T = 20°C HR = 50%	$m_a = 0,006$	4 * $m_a \cdot V = 45,16$					
		A del recinto = 78,57 < 376,41 = 0,2 * V							

AULAS		Elemento	Acabado	S área (m2)	Coeficiente de absorción acústica, α				Absorción acústica (m2) $\alpha_m \cdot S$
TIPO 1: 107,72 m2					500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	- α_m	
Volumen, V (m3): 323,16	Suelo	Terrazo		107,72	0,01	0,02	0,02	0,02	2,15
		Enlucido de yeso		114,6	0,01	0,01	0,02	0,01	1,14
	Paredes	Vidrio		14,6	0,05	0,04	0,03	0,04	0,58
		Puertas de madera		4,4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,35
	Techo	Enlucido de yeso		107,72	0,01	0,01	0,02	0,01	1,07
		Objetos	-						
Absorción del aire		T = 20°C HR = 50%		$m_m = 0,006$	4 * $m_m \cdot V = 7,75$				
A del recinto = 13,04 < 64,63 = 0,2 * V T del recinto = 3,96 > 0,7 s									

3. Ficha técnica de Placa Knauf



Diseño y planificación
D127.es Absorción acústica

D127.es Techo Cleaneo® Akustik

12,5 mm Placas Cleaneo® Akustik con velo acústico

Perforación	Plénium	α_m	α_w	Coeficiente de absorción en función de la frecuencia α_p							
				125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
	mm										
<div>Perforación Redonda 6/18 R</div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><</div>											

4. Declaración ambiental del producto Knauf. Indicadores de impacto.



DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO

DAPc® 001.006



DE ACUERDO CON LAS NORMAS
ISO 14.025 e ISO 21.930

PRODUCTO

**PANEL PLUS (TP 138)
de 100 mm**

EMPRESA



DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Panel semi-rígido de Lana Mineral de Vidrio no hidrófila, sin revestimiento, de 100 mm de espesor nominal, 1.350 mm de longitud y 600 mm de anchura

RCP DE REFERENCIA

RCP001 - Productos aislantes térmicos - V.1 (2010)

PLANTA PRODUCCIÓN

KNAUF INSULATION LANNEMEZAN SAS
501, Voie Napoléon III
F-65300 Lannemezan (France)

VALIDEZ

Desde: 31.01.2013
Hasta: 30.01.2018

La validez de la DAPc® 001.006 está sujeta a las condiciones del reglamento DAPc®. La edición vigente de esta DAPc® es la que figura en el registro que mantiene CAATEEB; a título informativo, se incorpora en la página web del Sistema <http://es.csostenible.net/dapc>

Declaración Ambiental de Producto PANEL PLUS (TP 138) de 100 mm

1. Descripción del producto y de su uso

El producto PANEL PLUS (TP 138) es un panel semi-rígido de Lana Mineral de Vidrio no hidrófila, sin revestimiento, de 100 mm de espesor nominal, 1.350 mm de longitud y 600 mm de anchura.

Sus especificaciones técnicas son:

Tabla 1. Especificaciones técnicas	
Espesor nominal (mm)	100
Anchura nominal (mm)	600
Longitud nominal (mm)	1.350
Resistencia térmica declarada (m².K/W)	3,15
Conductividad térmica declarada (W/m.K)	0,032



La principal aplicación de este producto es el aislamiento termo-acústico de cerramientos de fachadas constituidos por muros de doble hoja de fábrica con cámara de aire. Además, el producto es no combustible (Euroclase A1) y tiene un poder calorífico mínimo, de manera que no contribuye a la propagación de incendios.

2. Descripción de las etapas de ciclo de vida

2.1. Fabricación (A1, A2 y A3)

Materias primas (A1 y A2)

La Lana Mineral de Vidrio fabricada por KNAUF INSULATION está compuesta por una mezcla de vitrificantes, fundamentalmente arena de sílice, vidrio reciclado externo de distinta procedencia y residuos de fabricación, de fundentes y de estabilizantes que confieren determinadas propiedades al producto. A esta base mineral se añade un porcentaje determinado de un ligante natural de origen vegetal (**Ecosse® Technology**).

Las materias primas utilizadas son suministradas por proveedores locales, nacionales e internacionales respecto de la zona donde se encuentra ubicada la planta de producción. Todos los transportes se realizan por carretera en camiones de gran tonelaje. En general, se han escogido modelos de camiones de 27 t (25 t en Francia) de capacidad, que cumplen con la normativa de emisiones Euro V. La mayoría de materias primas se transportan en camiones cisterna.

Fabricación (A3)

La fabricación es un proceso continuo constituido por las siguientes fases:

– Dosificación y mezcla de materias primas: Las materias primas se almacenan en silos, y se dosifican y mezclan por métodos automatizados.

- Horno de fusión: Las materias primas, una vez mezcladas, se introducen en un horno de fusión y mediante la aportación de energía primaria, se funden a temperaturas superiores a los 1.000 °C para obtener un magma o masa líquida.
- Fibrado del magma: El magma cae sobre unas cacerolas metálicas perforadas en sus bordes ("spinners") y, mediante un proceso de centrifugado a gran velocidad y enfriamiento rápido, se obtienen filamentos de longitudes y diámetros variables.
- Aplicación del ligante: En esta fase Knauf Insulation incorpora **Ecosse® Technology** dentro de su proceso productivo de Lana Mineral de Vidrio y, mediante rociado por pulverización, aplica un ligante natural a base de almidón vegetal, exento de fenoles, formaldehídos u otros derivados del petróleo, con el que se aglutinan las fibras, que van depositándose multidireccionalmente sobre una cinta transportadora continua, obteniéndose un colchón de densidad y espesor uniformes.
- Horno de cocción: Al paso del colchón de lana por el horno de cocción, el producto es comprimido para obtener el espesor nominal final y la resina polimeriza mediante una corriente de aire caliente a una temperatura de 250 °C.
- Fase de corte: El producto es cortado longitudinal y transversalmente mediante sierra y guillotina respectivamente, para obtener la longitud y la anchura nominales finales. La merma de producto procedente del perfilado lateral longitudinal se recicla para la fabricación de productos especiales.
- Embalaje y etiquetado: Para su transporte y acopio, el producto es comprimido, embalado en paquetes de paneles con films de polietileno retráctil y etiquetado para su identificación. Finalmente se paletiza en palets de madera y el conjunto se envuelve de nuevo con plástico impermeable, posibilitando su almacenamiento opcional a la intemperie.



Figura 1. Proceso de fabricación del producto PANEL PLUS (TP 138)

2.2. Construcción

Transporte del producto (A4)

El transporte se realiza en camiones que transportan 22 palés de dimensiones 1,25 m (ancho) x 1,35 m (largo) x 2,40 m (alto). Se ha considerado una distancia media de 500 km entre la fábrica y el lugar de instalación. El camión utilizado cumple la normativa Euro V, consume 0,02 kg de diesel por kg de carga transportada y la tasa de retorno en vacío es del 10%.

Proceso de instalación del producto y construcción (A5)

Una vez el producto es descargado del camión se desembala y se procede a su instalación. El proceso habitual de instalación de PANEL PLUS (TP 138) es el siguiente:

1/ Preparación del soporte, normalmente el trasdós de una hoja de cerramiento en fachada a base de fábrica de ladrillo, limpiándolo y extrayendo rebabas de mortero para igualar su superficie.

2/ Colocación de los paneles de Lana Mineral de Vidrio sobre el soporte, simplemente apoyados o fijados mecánicamente. Se cuidará que el espacio existente entre dos paneles consecutivos (o entre un panel y cualquier elemento de borde) no sea superior a 5 mm. En caso de que, por las dimensiones del paramento, existan discontinuidades superiores a 5 mm, se rellenarán con bandas o segmentos de la misma lana. Los paneles se cortan con cuchillos o cúters de uso corriente.

3/ Una vez instalados los paneles de Lana Mineral de Vidrio, se trasdosa el conjunto con una segunda hoja de ladrillo cerámico o de placa de yeso laminado.

Se estima que las mermas de producto generadas durante su instalación son del 2%. Además de estas mermas, se generan residuos de embalaje: madera, polietileno y papel/cartón. Se ha estimado que todos estos residuos se transportan en camión hasta un vertedero controlado situado a 50 km del lugar de la instalación.



Figura 2: **Solución constructiva. Instalación de PANEL PLUS (TP 138) sobre el trasdós de una hoja de fábrica y cierre posterior mediante una segunda hoja**

2.3. Uso del producto

La etapa de uso se divide en los siguientes módulos:

- Uso (B1)
- Mantenimiento (B2)
- Reparación (B3)
- Substitución (B4)
- Rehabilitación (B5)
- Uso de la energía operacional (B6)
- Uso del agua operacional (B7)

Una vez instalado, el producto no requiere de ningún aporte energético ni material a lo largo de su etapa de uso para su correcto funcionamiento. Por otro lado, este producto no queda expuesto al ambiente interior del edificio ni está en contacto con

3.1. Unidad funcional

La unidad funcional es "aislamiento térmico de 1 m² de fachada durante 50 años utilizando el producto PANEL PLUS (TP 138) con una resistencia térmica de 3,15 m².K/W y considerando un entorno geográfico y tecnológico de España en el año 2012".

3.2. Límites del sistema



Figura 3. **Límites del sistema**

3.3. Indicadores de la evaluación de impactos

Tabla 2. Indicadores de la evaluación de impacto												
Parámetro evaluado	Unidad por m ² de panel	Etapas del ciclo de vida										
		Fabricación		Construcción		Uso				Fin de vida		
		A1. - A3.	A4.	A5.	A6.	B1.	B2.	B3.	B4.	B5.	B6.	B7.
Potencial de Calentamiento Global	kg de CO ₂ eq.	2,65E+00	3,58E-01	4,22E-01	—	—	—	—	—	—	—	—
Potencial de Agotamiento de Ozono	kg de CFC11 eq.	5,15E-07	1,33E-10	8,94E-11	—	—	—	—	—	—	—	—
Potencial de Estratósferico	kg de SO ₂ eq.	1,67E-02	3,95E-04	8,00E-05	—	—	—	—	—	—	—	—
Potencial de Acidificación	kg de PO ₄ ³⁻ eq.	3,21E-03	5,23E-05	1,99E-05	—	—	—	—	—	—	—	—
Potencial de Eutrofización	kg de Sb eq.	2,54E-02	2,38E-03	7,55E-05	—	—	—	—	—	—	—	—
Potencial de Agotamiento de Recursos Abióticos	kg de etano eq.	1,38E-03	6,33E-05	7,48E-06	—	—	—	—	—	—	—	—
Potencial de Formación de Ozono Fotoquímico	kg de etano eq.	1,38E-03	6,33E-05	7,48E-06	—	—	—	—	—	—	—	—
A1. Suministro de materias primas	B1. Uso	C1. Construcción y derribo										
A2. Transporte	B2. Mantenimiento y transporte	C2. Transporte										
A3. Fabricación (según figura 3)	B3. Reparación	C3. Gestión de residuos para reutilización, recuperación y reciclaje										
A4. Transporte	B4. Substitución	C4. Eliminación final										
A5. Procesos de instalación y construcción	B5. Uso de la energía operacional	— las RCP no prevén el cálculo de este impacto no ser relevante para este tipo de producto.										
	B6. Uso de la energía operacional											
	B7. Uso de agua operacional											

3.4. Datos de inventario de ciclo de vida (ICV)

Tabla 3. Datos de inventario de ciclo de vida												
Parámetro evaluado	Unidad por m ² de panel	Etapas del ciclo de vida										
		Fabricación		Construcción		Uso				Fin de vida		
		A1. - A3.	A4.	A5.	A6.	B1.	B2.	B3.	B4.	B5.	B6.	B7.
Consumo de energía primaria renovable	MJ (valor calorífico neto)	1,14E+01	1,93E-01	1,24E-02	—	—	—	—	—	—	—	—
Consumo de energía primaria no renovable	MJ (valor calorífico neto)	7,98E+01	4,96E+00	1,78E-01	—	—	—	—	—	—	—	—
Utilización de combustibles secundarios no renovables	MJ (valor calorífico neto)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	—	—	—	—	—	—	—	—
Utilización de combustibles secundarios renovables	MJ (valor calorífico neto)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	—	—	—	—	—	—	—	—
Consumo de agua dulce	m ³	7,49E-02	4,39E-04	1,04E-03	—	—	—	—	—	—	—	—
Producción de residuos	kg	5,39E+00	1,75E-02	1,21E-01	—	—	—	—	—	—	—	—
Peligrosos	kg	8,29E-04	0,00E+00	0,00E+00	—	—	—	—	—	—	—	—
No peligrosos	kg	5,34E+00	1,75E-02	1,21E-01	—	—	—	—	—	—	—	—
Radioactivos	kg	1,12E-02	6,90E-06	6,90E-06	—	—	—	—	—	—	—	—
Material de salda para	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	—	—	—	—	—	—	—	—
Reutilización	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	—	—	—	—	—	—	—	—
Reciclaje	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	—	—	—	—	—	—	—	—
Valoración energética	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	—	—	—	—	—	—	—	—
A1. Suministro de materias primas	B1. Uso	C1. Construcción y derribo										
A2. Transporte	B2. Mantenimiento y transporte	C2. Transporte										
A3. Fabricación (según figura 3)	B3. Reparación	C3. Gestión de residuos para reutilización, recuperación y reciclaje										
A4. Transporte	B4. Substitución	C4. Eliminación final										
A5. Procesos de instalación y construcción	B5. Uso de la energía operacional	— las RCP no prevén el cálculo de este impacto no ser relevante para este tipo de producto.										
	B6. Uso de la energía operacional											
	B7. Uso de agua operacional											

